

7-2013

ПОЖ Издательство
НАУКА

ПОЖАРОВЗРЫВО-

БЕЗОПАСН  **СТЬ**

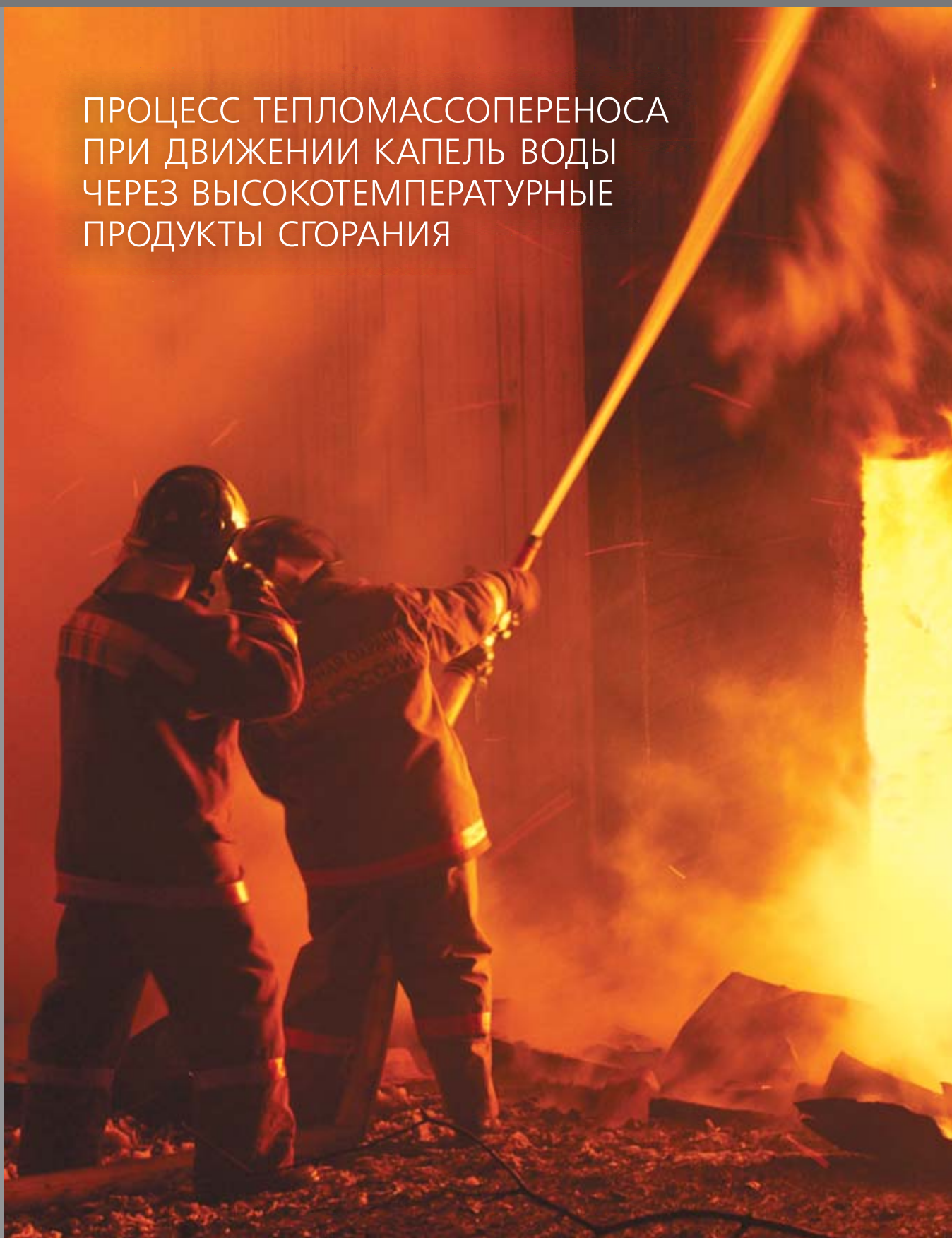
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ISSN 0869-7493

ПРОЦЕСС ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА
ПРИ ДВИЖЕНИИ КАПЕЛЬ ВОДЫ
ЧЕРЕЗ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ
ПРОДУКТЫ СГОРАНИЯ

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

пожарная • промышленная • производственная • экологическая





СИСТЕМЫ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ

Юридический адрес: 142301, г. Чехов, Московская обл., Вишневый бульвар, 8

Почтовый адрес: 117465, г. Москва, а/я № 7

Тел/факс: +7 (495) 775-27-96; 984-07-96

E-mail: artsok@centro.ru, postmaster@artsok.com

http: www.artsok.com

Система менеджмента качества сертифицирована как соответствующая требованиям 9001–2008

Запорно–пусковые устройства (ЗПУ) МГП сертифицированы как соответствующие требованиям
Директивы безопасности Европейского Союза PED 97/23/EC



Модули МГП-16 емкостью от 2 до 100 л
на рабочее давление до 19,6 МПа (200 кгс/см²),
МГП-35 емкостью от 60 до 100 л
на рабочее давление до 14,7 МПа (150 кгс/см²),
МГП-50 емкостью от 60 до 100 л
на рабочее давление до 6,37 МПа (65 кгс/см²)
и батареи на их основе



Приборы
приемно-
контрольные
пожарные
и управления
ППКПУ 4/16
«АИСТ»



Стойки с весовыми устройствами
для МГП-16 и МГП-35



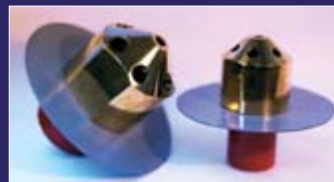
Модули изотермические для жидкой двуокиси
углерода (МИЖУ) емкостью от 3 до 28 м³
(стационарные и передвижные)



Распределительные устройства
(РУ) для комплектации АУГП
централизованного типа



Насадки для распыления
газовых огнетушащих веществ
(струйные и локальные)



СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

ЮБИЛЕИ

JUBILEES

ЧЕРКАСОВУ Владимиру Николаевичу – 90 лет
НОВОСТИ, КОНФЕРЕНЦИИ, ВЫСТАВКИ

6 CHERKASOV Vladimir Nikolayevich (to 90th anniversary)
NEWS, CONFERENCES, EXHIBITIONS

Если вы оказались в зоне природного пожара...
ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ И ВЗРЫВА

9 If you are in a natural fire zone...
COMBUSTION AND EXPLOSION PROCESSES

СТРИЖАК П. А.
Численный анализ диффузионно-конвективных процессов
тепломассопереноса при движении капель воды
через высокотемпературные продукты сгорания
**ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ
ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ**

11 STRIZHAK P. A.
Numerical analysis of diffusion and convection heat
and mass transfer processes at the moving of water drops
through high combustion products
**FIRE-AND-EXPLOSION HAZARD
OF SUBSTANCES AND MATERIALS**

АЛЕКСЕЕВ С. Г., АВДЕЕВ А. С.,
БАРБИН Н. М., ТИМАСHEV С. А., ГУРЬЕВ Е. С.
Методы оценки взрывопожароопасности
топливоздушных смесей на примере керосина
марки РТ. VI. TNO-методы (часть 1)

22 ALEXEEV S. G., AVDEEV A. S.,
BARBIN N. M., TIMASHEV S. A., GURYEV E. S.
Analysis methods of explosion fire hazard of mixtures
of fuel and air on an example for jet fuel RT.
VI. TNO methods (Part 1)

БАРБОТКО С. Л., ШВЕЦ Н. И.,
ЗАСТРОГИНА О. Б., ИЗOTOVA Т. Ф.
Исследование влияния толщины стеклопластиков
на характеристики тепловыделения при горении

30 BARBOTKO S. L., SHVETS N. I.,
ZASTROGINA O. B., IZOTOVA T. F.
The influence of fibreglasses thickness on heat release
characteristics at burning

КОТОВ С. Г., САЕЧНИКОВ В. А.,
КОТОВ Д. С., ВЕРХОТУРОВА Е. В.
Экспресс-метод прогнозирования зон поражения
опасными факторами пожара и взрыва при выбросе
сильнодействующих ядовитых веществ

37 KOTOV S. G., SAECHNIKOV V. A.,
KOTOV D. S., VERKHOTUROVA E. V.
Express method of prognosing of lethal zone of
dangerous factors of fires and explosions
during toxic substance outbursts

ОГНЕЗАЩИТА

FIRE RETARDANCE

Продукция компании Roshal Group –
первое звено прочной брони
ОГНЕСТОЙКОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

45 The Roshal Group's products
are the first link of solid armour
FIRE-RESISTANCE OF BUILDING CONSTRUCTIONS

РОЙТМАН В. М.
Особенности проектирования огнестойкости конструкций
и зданий при комбинированных особых воздействиях
с участием пожара
**ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ,
СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ**

47 ROYTMAN V. M.
Features of designing of constructions and buildings
fire resistance in conditions of combined hazardous effects
accompanied by fire
**FIRE SAFETY OF BUILDINGS,
STRUCTURES, OBJECTS**

БРЮХАНЬ А. Ф., БРЮХАНЬ Ф. Ф., КОРОЛЬЧЕНКО Д. А.
О категориях газогеохимической опасности насыпных грунтов
СТАТИСТИКА И АНАЛИЗ ПОЖАРОВ

55 BRYUKHAN A. F., BRYUKHAN F. F., KOROL'CHENKO D. A.
About the category of gas-geochemical danger of backfill
STATISTIC AND ANALYZE OF FIRE

КАИБИЧЕВА Е. И., КАИБИЧЕВ И. А.
Индекс материального ущерба от пожаров в сельской
местности в Российской Федерации за 2006–2010 годы
ПОЖАРНАЯ АВТОМАТИКА

59 KAIBICHEVA E. I., KAIBICHEV I. A.
Index of the material damage from fires in rural terrain
in Russian Federation for 2006–2010 years
FIRE AUTOMATIC

КОЗУБОВСКИЙ В. Р., ФЕДАК М. В.
Проблемы разработки и внедрения в производство
газовых пожарных извещателей

64 KOZUBOVSKIY V. R., FEDAK M. V.
Issues of design and production implementation
of gas-sensing fire detectors

СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

MEANS AND WAYS OF FIRE EXTINGUISHING

БИТУЕВ Б. Ж.
Проблемы противопожарной защиты резервуаров
с новыми евротопливами

75 BITUEV B. G.
Problems of tanks fire protection
with new european fuel

ДИСКУССИИ

DISCUSSION

ДУБЕНИН М. П., ЖУКОВ В. В.
Основные причины плачевных результатов
независимой оценки пожарного риска

80 DUBININ M. P., ZHUKOV V. V.
The main causes of the deplorable results
of an independent assessment of fire risk

ВОПРОС – ОТВЕТ

QUESTION – ANSWER

Журнал включен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК России для публикации трудов соискателей ученых степеней, в Реферативный журнал и базы данных ВИНТИ РАН, в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ). Сведения о журнале ежегодно публикуются в Международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям "Ulrich's Periodicals Directory". Перепечатка материалов журнала "Пожаровзрывобезопасность" только по согласованию с редакцией. При цитировании ссылка обязательна. Авторы и рекламодатели несут ответственность за содержание представленных в редакцию материалов и публикацию их в открытой печати. Мнение редакции не всегда совпадает с мнением авторов опубликованных материалов.



Если вы оказались в зоне природного пожара...



Тепломассоперенос при движении капель воды

Стр. 9

Стр. 11



Первое звено прочной брони



Огнестойкость при СНЕ с участием пожара

Стр. 45

Стр. 47

Стр. 75



Проблемы противопожарной защиты резервуаров

ПОЖНАУКА ПОЖАРОВЗРЫВО- БЕЗОПАСНОСТЬ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ



ISSN 0869-7493

Том 22, № 7, 2013

Председатель Редакционного совета:

Корольченко А. Я., д. т. н., профессор,
академик МАНЭБ (Россия)

Зам. председателя Редакционного совета:

Мольков В. В., д. т. н., профессор (Великобритания)

Редакционный совет:

Баратов А. Н., д. т. н., профессор, действительный член НАНПБ,
заслуженный деятель науки РФ (Россия)

Барбин Н. М., д. т. н., профессор (Россия)

Брушлинский Н. Н., д. т. н., профессор, академик РАЕН,
заслуженный деятель науки РФ (Россия)

Кирюханцев Е. Е., к. т. н., профессор (Россия)

Корольченко Д. А., к. т. н. (Россия)

Лейбман М. Е., заслуженный строитель России,
генерал-полковник запаса (Россия)

Меркулов В. А., к. т. н. (Россия)

Мишуев А. В., д. т. н., профессор, академик РАЕН (Россия)

Ройтман В. М., д. т. н., профессор, академик НАНПБ
и ВАНКБ (Россия)

Сенин Н. И., к. т. н., профессор (Россия)

Серков Б. Б., д. т. н., профессор, действительный член
НАНПБ (Россия)

Пузач С. В., д. т. н., профессор, член-корреспондент
НАНПБ (Россия)

Теличенко В. И., д. т. н., профессор, действительный член
РААСН, заслуженный деятель науки РФ (Россия)

Топольский Н. Г., д. т. н., профессор, академик РАЕН и НАНПБ,
заслуженный деятель науки РФ (Россия)

Тычино Н. А., д. т. н., член-корреспондент МАНЭБ (Белоруссия)

Холщевников В. В., д. т. н., профессор, академик и почетный
член РАЕН, заслуженный работник высшей школы РФ (Россия)

Шебеко Ю. Н., д. т. н., профессор, действительный член
НАНПБ (Россия)

Шилдс Т. Дж., профессор (Великобритания)

Редакция:

Главный редактор **Корольченко А. Я.**

Шеф-редактор **Соколова Н. Н.**

Редактор **Крылова Л. В.**

Учредитель — ООО "Издательство "ПОЖНАУКА"

Тел./факс: (495) 228-09-03,
8-909-940-01-85.

121352, г. Москва, а/я 43.

E-mail: info@fire-smi.ru, mail@firepress.ru,
www.fire-smi.ru, www.firepress.ru.

Подписано в печать 12.07.2013.

Формат 60x84 1/8. Тираж 5000 экз.

Бумага мелованная матовая. Печать офсетная.

Отпечатано в типографии "ГранПри", г. Рыбинск.



Founder:
"POZHNAUKA" Publishing House, Ltd.

Editorial Staff:
Editor-in-Chief **Korol'chenko A. Ya.**
Editorial director **Sokolova N. N.**
Editor **Krylova L. V.**

Address of Editorial Staff:

Post office box 43,
Moscow, 121352, Russia
Phone/Fax: (495) 228-09-03,
8-909-940-01-85
E-mail: info@fire-smi,
mail@firepress
Website: www.fire-smi.ru,
www.firepress.ru

"Pozharovzryvobezopasnost"
("Fire and Explosion Safety") is included
in List of periodical scientific and technical
publication of the Russian Federation,
what are recommended for publishing
the main results of competitors for doctoral
degree by VAK, in Abstracting Journal
and VINITI Database RAS, is included
in Russian Citation Index Database.
Information about the journal is annually
published in "Ulrich's Periodicals Directory".
No part of this publication may be used
or reproduced in any form or by any means
without the prior permission of the Publishers.
Reproducing any part of this material
a reference to the journal is obligatory.
Authors and advertisers account for contents
of given papers and for publishing
in the open press. Opinion of Editorial Staff
not always coincides with Author's opinion

Signed for printing 12.07.2013
Format is 60x84 1/8
Printing is 5 000 copies
Chalk-overlay mat paper
Offset printing

Chairman of Editorial Board:

Korol'chenko A. Ya.,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of International
Academy of Ecology and Life Safety (Russia)

Deputy Chairman of Editorial Board:

Molkov V. V.,
Doctor of Technical Sciences, Professor (Great Britain)

Editorial Board:

Baratov A. N.,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Full Member of National Academy
of Fire Science, Honoured Scientist of the Russian Federation (Russia)

Barbin N. M.,
Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Brushlinskiy N. N.,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of Russian Academy
of Natural Sciences, Honoured Scientist of the Russian Federation (Russia)

Kiryukhantsev Ye. Ye.,
Candidate of Technical Sciences, Professor (Russia)

Korolchenko D. A.,
Candidate of Technical Sciences (Russia)

Leybman M. Ye.,
Honoured Builder of the Russian Federation, Retired Colonel General (Russia)

Merkulov V. A.,
Candidate of Technical Sciences (Russia)

Mishuev A. V.,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of Russian Academy
of Natural Sciences (Russia)

Roytman V. M.,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of National Academy
of Fire Science, Academician of World Academy of Sciences of Complex
Safety (Russia)

Senin N. I.,
Candidate of Technical Sciences, Professor (Russia)

Serkov B. B.,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Full Member of National Academy
of Fire Science (Russia)

Puzach C. V.,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of National
Academy of Fire Science (Russia)

Telichenko V. I.,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Full Member of Russian Academy
of Architecture and Construction Sciences, Honoured Scientist of the Russian
Federation (Russia)

Topolskiy N. G.,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of Russian Academy
of Natural Sciences, Academician of National Academy of Fire Science,
Honoured Scientist of the Russian Federation (Russia)

Tychino N. A.,
Doctor of Technical Sciences, Corresponding Member of International
Academy of Ecology and Life Safety (Belarus)

Kholshchevnikov V. V.,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician and Honoured Member
of Russian Academy of Natural Sciences, Honoured Higher Education
Employee of the Russian Federation (Russia)

Shebeko Yu. N.,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Full Member of National Academy
of Fire Science (Russia)

Thomas Jim Shields,
Professor (Great Britain)



Точный расчет на безопасность!

РЕКЛАМА

Шторм-ОН — синтетический углеводородный пенообразователь общего назначения. Основная область применения: для нужд пожарных бригад в городах, для тушения лесов, деревянных строений, торфяников. Относится к биологически маловредным средствам (БИО). Срок годности пенообразователя до 5 лет, после чего необходимо либо проводить дополнительные исследования, либо использовать его для учений.

ГЕФЕСТ
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОМПАНИЯ

Тел.: (495) 925 51 31
www.gefestnpk.ru
www.shtpena.ru



ЧЕРКАСОВУ Владимиру Николаевичу — 90 лет

Черкасову Владимиру Николаевичу, кандидату технических наук, профессору, высококвалифицированному преподавателю высшей школы и крупному ученому в области обеспечения пожаровзрывобезопасности электроустановок отечественного и зарубежного производства, молниезащиты и защиты от статического электричества взрывопожароопасных технологических процессов объектов промышленного и иного назначения в химической, нефтехимической, нефтеперерабатывающей, нефтегазовой и других отраслях, 12 июля 2013 г. исполнилось 90 лет.

В. Н. Черкасов является автором 16 научных трудов, 3 учебников, 28 учебных и 9 учебно-методических пособий. По его учебникам осуществляется подготовка инженеров пожарной безопасности во многих вузах страны и ближнего зарубежья, например в Волгоградском государственном архитектурно-строительном университете, Московском энергетическом институте (техническом университете), во всех высших образовательных учебных заведениях МЧС России, в Высшей школе МВД Республики Узбекистан (г. Ташкент) и др.

Службу в пожарной охране Владимир Николаевич начал в 1943 г. слушателем Факультета инженеров противопожарной обороны НКВД при Азербайджанском индустриальном институте после ранения, полученного в бою за г. Сталинград.

С 1948 г. и по настоящее время, т. е. вот уже 65 лет, он работает в вузах пожарнотехнического профиля МВД и МЧС. Он является основоположником разработки программ, учебников, учебных пособий по курсам “Электротехника и пожарная профилактика электроустановок” и “Пожар-

ная безопасность электроустановок”. К наиболее значимым из научных и учебно-методических трудов следует отнести учебник “Пожарная безопасность электроустановок”, который переиздавался 5 раз и в 2002 г. был рекомендован МЧС России в качестве учебника для курсантов, студентов и слушателей высших образовательных учреждений МЧС России. В декабре 2004 г. на конкурсе монографий, учебников и учебных пособий этот учебник занял первое место, а профессор В. Н. Черкасов получил звание и диплом Лауреата премии Национальной академии наук пожарной безопасности (НАНПБ).

С 1985 по 1988 гг. профессор В. Н. Черкасов являлся членом советской части комитета ТК-81 МЭК по разработке международного стандарта по молниезащите.

Учебно-методическая и научная деятельность профессора Черкасова за период с октября 2006 г. по настоящее время связана с реализацией таких направлений, как разработка, издание и рецензирование учебников, учебно-методических, справочных пособий и книг; написание научных статей и докладов; выступления с лекциями и докладами в различных академиях, учебных заведениях и учебно-методических и инженерно-технических центрах технической, экологической безопасности и энергосбережения; экспертиза крупных пожаров от электроустановок и разрядов молнии, разрядов статического электричества на объектах нефтехимической и газовой промышленности; разработка нормативных документов.

За указанный период под редакцией профессора Черкасова изданы: учебник “Пожарная безопасность электроустано-

вок” (5-е изд.); учебник “Электростатическая искробезопасность и молниезащита”, удостоенный премии НАНПБ в 2006 г.; учебное пособие “Пожарно-техническая экспертиза электротехнической части проекта”, также получившее премию НАНПБ в номинации “Лучшее учебное пособие в 2007 году”; задачник по курсу “Пожарная безопасность электроустановок”; справочное пособие “Электроустановки во взрывопожароопасных зонах”; монография “Молниезащита взрывоопасных и пожароопасных зданий и сооружений от молнии и статического электричества”; более 30 научных статей в ведущих рецензируемых научных изданиях и докладов в материалах научно-технических конференций Академии ГПС МЧС России “Системы безопасности”. За последние два года изданы 3 новых учебных пособия, 2 учебно-методических пособия, 17 статей в 4 ведущих профильных рецензируемых журналах.

В 2012 г. в рецензируемом научно-техническом журнале “Пожаровзрывобезопасность” профессором В. Н. Черкасовым была открыта и регулярно ведется рубрика по проблемам выбора и применения в проектной, эксплуатационной и нормативной практике электрооборудования во взрывопожароопасных зонах.

Результаты научной и учебно-методической деятельности В. Н. Черкасова легли в основу курса “Пожарная безопасность электроустановок”, который является одним из профилирующих при подготовке инженеров пожарной безопасности и читается им с 1948 г., а многочисленные учебно-методические работы позволили обновить фонд учебников, учебно-методических и справочных пособий, что дало возможность ввести в учебный процесс курсовое и дипломное проектирование по преподаваемым дисциплинам на современном проектно-эксплуатационном и нормативном уровне обеспечения пожаровзрывобезопасности электроустановок, молниезащиты и защиты от статического электричества пожаровзрывоопасных объектов, а также повысить уровень профессиональных знаний и навыков выпускников академии как инженеров пожарной безопасности.

Профессор В. Н. Черкасов в своей работе большое внимание уделяет внедрению инновационных форм учебной и научной деятельности в образовательный процесс. Им организовано проведение междисциплинарных семинаров в Академии ГПС МЧС России, в ходе которых обучающиеся получа-

ют возможность общаться с ведущими учеными и специалистами из смежных отраслей знаний.

За последние семь лет им подготовлено более 30 дипломированных специалистов — инженеров пожарной безопасности. Являясь профессором кафедры, В. Н. Черкасов руководит патриотической работой на кафедре и активно занимается воспитанием курсантов и слушателей в соответствии с “Государственной программой патриотического воспитания граждан Российской Федерации на 2011–2015 годы”. Помимо этого, он принимает активное участие в работе Совета ветеранов Академии.

Богатый опыт научной и практической деятельности позволяет профессору В. Н. Черкасову воплотить свои знания в законотворческой и нормативно-технической деятельности. В качестве члена рабочей группы он активно участвует в работе над проектами нормативных документов в области обеспечения пожарной безопасности электроустановок и электротехнической продукции. В частности, он принимал участие в разработке “Технического регламента о требованиях пожарной безопасности” (Федеральный закон от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ).

За многолетнюю творческую работу профессор Черкасов трижды отмечен званием и дипломом Лауреата премии НАНПБ, Указом Президента Российской Федерации удостоен звания “Заслуженный работник высшей школы РФ”, избран почетным профессором Академии ГПС МЧС России. В 2003 г. он был избран действительным членом (академиком) Национальной академии наук пожарной безопасности (НАНПБ).

За безупречную службу Владимир Николаевич награжден нагрудными знаками: “Лучшему работнику пожарной охраны”, “За отличную службу в МВД”, “Почетный знак МЧС России”, “За заслуги”; медалями: “Ветеран труда”, “50 лет советской милиции”, “За безупречную службу”, Жукова, “Патриот России”, “XX лет МЧС России”, памятной медалью “Маршал Василий Чуйков” и др.

Участник ВОВ, участник обороны Ленинграда и Сталинграда, он награжден орденом Отечественной войны 2-й степени, медалями “За отвагу”, “За оборону Ленинграда”, “За боевые заслуги”, “За победу над Германией”, “30 лет победы в Великой отечественной войне 1941–1945 гг.”, “60 лет Вооруженным силам СССР” и еще 25 юбилейными медалями и медалями за выслугу лет.

**Творческий коллектив журнала “Пожаровзрывобезопасность”,
а также коллеги желают Владимиру Николаевичу Черкасову
здоровья и творческих успехов!**



ПРАВИТЕЛЬСТВО
УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКИ



МИНИСТЕРСТВО
ВНУТРЕННИХ ДЕЛ
ПО УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ



ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ
МЧС РОССИИ
ПО УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ



АДМИНИСТРАЦИЯ
ГОРОДА ИЖЕВСКА



УДМУРТСКАЯ
ТОРГОВО-ПРОМЫШЛЕННАЯ
ПАЛАТА



ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР
«УДМУРТИЯ»

ВЫСТАВКА ПРОХОДИТ ПОД ПАТРОНАЖЕМ ТОРГОВО-ПРОМЫШЛЕННОЙ ПАЛАТЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Всероссийская
специализированная
выставка



Комплексная безопасность

18-20 сентября / 2013

ПРИГЛАШАЕМ ПРИНЯТЬ УЧАСТИЕ!

В ТЕЧЕНИЕ 5 ЛЕТ:

- ВЕДУЩИЕ ПРЕДПРИЯТИЯ РОССИИ
- ДЕМОНСТРАЦИОННАЯ ПРОГРАММА
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОДУКЦИИ УЧАСТНИКОВ
- ДЕЛОВЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ
- ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ АУДИТОРИЯ



ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
ОБЩЕСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
МЕДИЦИНА И КАТАСТРОФЫ
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧС

БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА
БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

ОДНОВРЕМЕННО СОСТОИТСЯ
II ВСЕРОССИЙСКАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА
«МЕДИЦИНА И ЗДОРОВЬЕ»

Место проведения выставки:
г. Ижевск, ул. Кооперативная, 9

Выставочный центр «УДМУРТИЯ»
тел./факс: (3412) 733-581, 733-585, 733-587, 733-664
safe@vcudm.ru | www.safe.vcudm.ru | vk.com/izh.safe

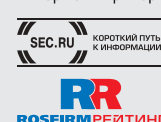
Информационные
партнеры:



СПАСАТЕЛЬ
ИНТЕРНАЦИОНАЛЬНЫЙ
СПАСАТЕЛЬНЫЙ



Интернет-партнеры:



МЧС РОССИИ

информирует



ЕСЛИ ВЫ ОКАЗАЛИСЬ В ЗОНЕ ПРИРОДНОГО ПОЖАРА...



Основные причины возникновения природных пожаров

Основным виновником лесных пожаров является человек, точнее его небрежность при пользовании в лесу огнем во время работы и отдыха. Большинство пожаров возникает в местах пикников, сбора грибов и ягод, во время охоты, от брошенной горячей спички, непотушенной сигареты. При выстреле охотника из ружья вылетевший из него пыж, упав в сухую траву, начинает тлеть, что может оказаться причиной ее возгорания. Другим источником возгорания могут стать брошенные в лесу бутылки и осколки стекла, которые в солнечную погоду фокусируют солнечные лучи как зажигательные линзы. Не полностью потушенный костер в лесу также может служить причиной последующих больших бедствий.

Статистика природных пожаров показывает, что их всплеск наблюдается в выходные дни, когда начинаются массовые походы людей на природу.

В зависимости от того, в каких частях леса распространяется огонь, лесные пожары принято подразделять на низовые, верховые и подземные (почвенные). В свою очередь, низовые и верховые пожары могут быть устойчивыми и беглыми.

В лесных массивах наиболее часто возникают низовые пожары, число которых достигает 90 % от общего количества лесных пожаров. Они опасны тем, что выжигают лесную подстилку, подрост и подлесок, травянисто-кустарниковый покров, валежник, корневища деревьев и т. п. В засушливый период при ветре наибольшую опасность представляют верховые пожары, огонь при которых распростра-

няется и по кронам деревьев, преимущественно хвойных пород. Скорость низового пожара — от 0,1 до 3 м/мин, верхового — до 100 м/мин по направлению ветра.

При горении торфа и корней растений существует угроза возникновения подземных пожаров, распространяющихся в разные стороны. Способность торфа самовозгораться и гореть без доступа воздуха и даже под водой представляет большую опасность. Над горящими торфяниками возможно образование "столбчатых завихрений" горячей золы и горячей торфяной пыли, которые при сильном ветре переносятся на большие расстояния и вызывают новые загорания.

ВНИМАНИЕ! В ПОЖАРООПАСНЫЙ ПЕРИОД ВОЗДЕРЖИТЕСЬ ОТ ПОСЕЩЕНИЯ ЛЕСА!

Если Вы все-таки оказались в лесу, соблюдайте следующие правила.

В пожароопасный период в лесу **категорически запрещается:**

- разводить костры, использовать мангалы и другие приспособления для приготовления пищи;
- курить, бросать горящие спички, окурки, вытряхивать из курительных трубок горячую золу;
- стрелять из оружия, использовать пиротехнические изделия;
- оставлять в лесу промасленный или пропитанный бензином, керосином и иными горючими веществами обтирочный материал;





- заправлять топливом баки работающих двигателей внутреннего сгорания, выводить для работы технику с неисправной системой питания двигателя, а также курить или пользоваться открытым огнем вблизи машин, заправляемых топливом;
- оставлять на освещенной солнцем лесной поляне бутылки, осколки стекла, другой мусор;
- выжигать траву, а также стерню на полях.

Лица, виновные в нарушении правил пожарной безопасности, в зависимости от характера нарушений и их последствий несут дисциплинарную, административную или уголовную ответственность.

Если Вы оказались в зоне природного пожара и обнаружили очаги возгорания, немедленно известите противопожарную службу по телефону 01 или с мобильного телефона — по номеру 112!

Если пожар низовой и локальный, можно попытаться потушить пламя самостоятельно: его можно сбить, захлестывая ветками лиственных пород, заливая водой, забрасывая влажным грунтом, затаптывая ногами.

При тушении пожара действуйте осмотрительно, не уходите далеко от дорог и просек, не теряйте из виду других людей, поддерживайте с ними зрительную и звуковую связь.

Если у Вас нет возможности своими силами справиться с локализацией и тушением пожара:

- немедленно предупредите всех находящихся поблизости о необходимости выхода из опасной зоны;

- организуйте выход людей на дорогу или просеку, широкую поляну, к берегу реки или водоема, в поле;
- выходите из опасной зоны быстро, перпендикулярно направлению движения огня;
- если невозможно уйти от пожара, войдите в водоем или накройтесь мокрой одеждой;
- оказавшись на открытом пространстве или поляне, дышите, пригнувшись к земле (там воздух менее задымлен); рот и нос при этом прикройте ватно-марлевой повязкой или тканью;
- после выхода из зоны пожара сообщите о его месте, размерах и характере в противопожарную службу, администрацию населенного пункта, лесничество.

В случае приближения огня непосредственно к строениям и угрозы массового пожара в населенном пункте срочно проводится эвакуация населения, прежде всего детей, пожилых людей, инвалидов.



Если есть вероятность приближения огня к вашему населенному пункту, подготовьтесь к возможной эвакуации:

- положите документы, ценные вещи в безопасное и доступное место;
- подготовьте к возможному экстренному отъезду транспортные средства;
- наденьте хлопчатобумажную или шерстяную одежду; при себе имейте: перчатки; платок, которым можно закрыть лицо; защитные очки или другие средства защиты глаз;
- подготовьте запас еды и питьевой воды;
- внимательно следите за информационными сообщениями по телевидению и радио, средствам оповещения; держите связь со своими знакомыми в других районах вашей местности;
- избегайте паники.

*Материал подготовлен при содействии
Объединенной редакции МЧС России*

П. А. СТРИЖАК, д-р физ.-мат. наук, профессор Национального исследовательского Томского политехнического университета (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30; e-mail: pavelspa@tpu.ru)

УДК 536.4

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ДИФфуЗИОННО-КОНВЕКТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА ПРИ ДВИЖЕНИИ КАПЕЛЬ ВОДЫ ЧЕРЕЗ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПРОДУКТЫ СГОРАНИЯ

Решена задача тепломассопереноса при испарении движущейся через высокотемпературные продукты сгорания одиночной капли тонкораспыленной воды в рамках приближения, учитывающего взаимосвязанные процессы конвекции и диффузии в формирующейся вокруг капли смеси газов и паров воды. Проанализированы основные макроскопические закономерности тепломассопереноса в малой окрестности и следе капли. Выполнено сопоставление интегральных характеристик испарения капли воды с использованием нескольких подходов к моделированию рассматриваемых процессов тепломассопереноса.

Ключевые слова: пожар; тушение; “водяной снаряд”; тонкораспыленная вода; капли воды; диффузия; конвекция; моделирование.

Введение

В последние годы можно отметить тенденцию достаточно интенсивного развития научно-технических основ технологии тушения городских и лесных пожаров тонкораспыленной водой [1–5]. Разработаны как упрощенные подходы к анализу условий тушения пожаров водяным туманом (завесой) [1–8], так и физические и математические модели с разной степенью детализации исследуемых физико-химических процессов [9–19]. В частности, в [12–19] приведены диффузионные модели тепломассопереноса, не учитывающие возможные конвективные течения в смеси высокотемпературных продуктов сгорания и водяных паров вокруг движущихся капель. Кроме того, даны оценки интегральных характеристик испарения одной и нескольких капель (времена существования, скорость, пройденное расстояние, удаленность капель относительно соседних в “водяном” снаряде, геометрические характеристики областей в следе движения капель с малыми значениями концентраций продуктов сгорания и минимальными температурами парогазовой смеси) [12–19]. Результаты исследований, приведенные в [9–11], показывают большие сложности (увеличение материальных и временных ресурсов) моделирования процессов испарения распыленной воды с учетом ламинарного и турбулентного конвективного тепломассопереноса. В связи с этим целесообразно выполнить анализ возможного упрощения подходов к моделированию сложных механизмов диффузионно-конвективного массопереноса в условиях

испарения капель воды при их движении через высокотемпературные продукты сгорания.

Цель настоящей работы — численное исследование макроскопических закономерностей диффузионно-конвективных процессов тепломассопереноса в малой окрестности движущейся через высокотемпературные продукты сгорания капли воды и определение возможного упрощения подходов к моделированию этих процессов.

Постановка задачи

На рис. 1 приведена схема области решения задачи тепломассопереноса для одиночной капли воды, движущейся через высокотемпературные продукты сгорания типичных лесных горючих матери-

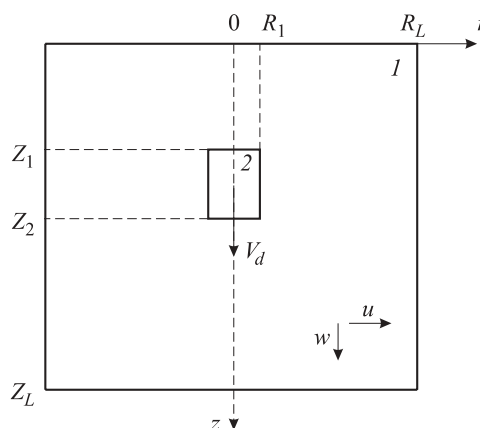


Рис. 1. Схема области решения задачи тепломассопереноса: 1 — высокотемпературная газовая смесь; 2 — капля воды

алов, которая аналогична используемым в [12–14]. Важно отметить, что в условиях необходимости расходования больших временных ресурсов на вычисления целесообразно оценить отклонения результатов численного моделирования условий испарения не совокупности [15–19], а одиночной капли [12–14].

В отличие от постановок в [12–19] считалось, что в малой окрестности поверхностей капли массоперенос формирующейся смеси паров воды и продуктов сгорания реализуется за счет диффузионного и конвективного механизмов. Исследования проводились в интервале времени $0 < \tau < \tau_d$ (где τ_d — время полного испарения (существования) капли).

Основные допущения к физической модели рассматриваемых процессов (см. рис. 1) по форме и площади недеформируемой части поверхности капли, а также по постоянству значений теплофизических характеристик воды, продуктов сгорания и водяных паров аналогичны постановкам в [12–19].

Математическая модель и методы решения

Для описания диффузионно-конвективных процессов тепломассопереноса и фазовых переходов в системе *капля воды – высокотемпературные продукты сгорания – пары воды* (см. рис. 1) использовались нестационарные дифференциальные уравнения, записанные в переменных *функция тока – вихрь скорости – температура* [20–22]:

- для формирующейся вокруг капли смеси продуктов сгорания и водяных паров ($0 < r < R_L$, $0 < z < Z_1$; $R_1 < r < R_L$, $Z_1 < z < Z_2$; $0 < r < R_L$, $Z_2 < z < Z_L$):

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \psi}{\partial r} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial r^2} = \omega; \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \omega}{\partial \tau} + u \frac{\partial \omega}{\partial r} + w \frac{\partial \omega}{\partial z} = \\ = v_1 \left[\frac{\partial^2 \omega}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \omega}{\partial r} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial z^2} \right] + \chi g \frac{\partial T_1}{\partial z}; \end{aligned} \quad (2)$$

$$\frac{\partial T_1}{\partial \tau} + u \frac{\partial T_1}{\partial r} + w \frac{\partial T_1}{\partial z} = a_1 \left[\frac{\partial^2 T_1}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_1}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_1}{\partial z^2} \right]; \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \gamma_w}{\partial \tau} + u \frac{\partial \gamma_w}{\partial r} + w \frac{\partial \gamma_w}{\partial z} = \\ = D_3 \left[\frac{\partial^2 \gamma_w}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \gamma_w}{\partial r} + \frac{\partial^2 \gamma_w}{\partial z^2} \right]; \end{aligned} \quad (4)$$

$$\gamma_w + \gamma_f = 1; \quad (5)$$

- для капли воды ($0 < r < R_1$, $Z_1 < z < Z_2$):

$$\frac{\partial T_2}{\partial \tau} = a_2 \left[\frac{\partial^2 T_2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_2}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_2}{\partial z^2} \right]. \quad (6)$$

Здесь r, z — координаты цилиндрической системы; m, R_L, Z_L — размеры области решения, м; ψ — функция тока, м²/с; ω — функция вихря скорости, с⁻¹; u, w — компоненты скорости соответственно смеси продуктов сгорания и водяных паров, м/с; ν — кинематическая вязкость, м²/с; χ — коэффициент термического расширения, К⁻¹; g — ускорение свободного падения, м/с²; T — температура, К; a — коэффициент температуропроводности, м²/с; $a = \lambda / C\rho$; λ — теплопроводность, Вт/(м·К); C — удельная теплоемкость, Дж/(кг·К); ρ — плотность, кг/м³; γ_w — концентрация паров воды; D — коэффициент диффузии, м²/с; γ_f — концентрация продуктов сгорания; индексы соответствуют: 1 — смеси продуктов сгорания и водяных паров; 2 — капле воды; 3 — парам воды.

Начальные ($\tau = 0$) условия:

- $T = T_0$ при $0 < r < R_1$, $Z_1 < z < Z_2$;
- $T = T_f$, $\gamma_f = 1$, $\gamma_w = 0$, $\psi = 0$, $\omega = 0$ при $0 < r < R_L$, $0 < z < Z_1$; $R_1 < r < R_L$, $Z_1 < z < Z_2$; $0 < r < R_L$, $Z_2 < z < Z_L$,

где T_0 — начальная температура капли, К;

T_f — температура продуктов сгорания, К.

Граничные ($0 < \tau < \tau_d$) условия:

$$r = 0, \quad 0 < z < Z_1, \quad Z_2 < z < Z_L:$$

$$\frac{\partial T_1}{\partial r} = 0; \quad \frac{\partial \gamma_w}{\partial r} = 0; \quad \frac{\partial \psi}{\partial r} = 0;$$

$$r = 0, \quad Z_1 < z < Z_2:$$

$$\partial T_2 / \partial r = 0;$$

$$r = R_1, \quad Z_1 < z < Z_2:$$

$$T_1 = T_2,$$

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r} - Q_e W_e - \rho_3 C_3 V_e (T_{3s} - T_{2s}),$$

$$-\rho_3 D_3 \frac{\partial \gamma_w}{\partial r} = W_e, \quad \frac{W_e}{\rho_3} = -\frac{1}{r} \frac{\partial \psi}{\partial r};$$

$$r = R_L, \quad 0 < z < Z_L:$$

$$\frac{\partial T_1^2}{\partial r} = 0, \quad \frac{\partial \gamma_w^2}{\partial r} = 0, \quad \frac{\partial \psi}{\partial r} = 0;$$

$$z = 0, \quad z = Z_L, \quad 0 < r < R_L:$$

$$\frac{\partial T_1^2}{\partial z} = 0, \quad \frac{\partial \gamma_w^2}{\partial z} = 0, \quad \frac{\partial \psi}{\partial z} = 0;$$

$$z = Z_1, \quad 0 < r < R_1:$$

$$T_1 = T_2,$$

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial z} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial z} - Q_e W_e - \rho_3 C_3 V_e (T_{3s} - T_{2s}),$$

$$-\rho_3 D_3 \frac{\partial \gamma_w}{\partial z} = W_e, \quad \frac{W_e}{\rho_3} = \frac{1}{r} \frac{\partial \psi}{\partial z};$$

$$z = Z_2, \quad 0 < r < R_1:$$

$$T_1 = T_2,$$

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial z} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial z} - Q_e W_e - \rho_3 C_3 V_e (T_{3s} - T_{2s}),$$

$$-\rho_3 D_3 \frac{\partial \gamma_w}{\partial z} = W_e, \quad \frac{W_e}{\rho_3} = \frac{1}{r} \frac{\partial \psi}{\partial z},$$

где Q_e — тепловой эффект испарения воды, Дж/кг;
 W_e — массовая скорость парообразования, кг/(м²·с);
 T_{2s}, T_{3s} — температура соответственно воды и водяных паров в окрестности границы фазового перехода на поверхности капли жидкости, К;
 V_e — линейная скорость оттока паров от поверхности капли, м/с.

При задании граничных условий для уравнения завихренности (2) использовалась формула Вудса [22]:

$$\begin{aligned} \omega_{0,j} &= -\frac{1}{r} \frac{\partial^2 \psi}{\partial r^2} \Big|_{0,j} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial \psi}{\partial r} \Big|_{0,j} = \\ &= \frac{-8\psi_{1,j} + \psi_{2,j} + 7\psi_{0,j}}{2r_0 h_r^2} + \left(\frac{3}{r_0 h_r} + \frac{1}{r_0^2} \right) \frac{\partial \psi}{\partial r} \Big|_{0,j}; \\ \omega_{i,0} &= -\frac{1}{r_i} \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} \Big|_{i,0} = \\ &= \frac{-8\psi_{i,1} + \psi_{i,2} + 7\psi_{i,0}}{2r_i h_z^2} + \frac{3}{r_i h_z} \frac{\partial \psi}{\partial z} \Big|_{i,0}, \end{aligned}$$

где i, j — номер шага по координате соответственно r и z ;

h_r, h_z — шаги по координате соответственно r и z , м.

Компоненты вектора скорости u, w определялись по формулам [22]:

$$u = \frac{1}{r} \frac{\partial \psi}{\partial z}; \quad w = -\frac{1}{r} \frac{\partial \psi}{\partial z}; \quad \omega = \frac{\partial w}{\partial r} - \frac{\partial u}{\partial z}.$$

Уравнение движения капли в условиях парообразования с учетом действия сил сопротивления и тяжести имеет следующий вид [23]:

$$\frac{dv_d}{d\tau} = \frac{3\rho_3}{4\rho_2 2r_d} c_\chi |v_d - v_e| (v_d - v_e) + g,$$

где v_d — скорость, м/с; $v_d(0) = v_0$;

v_0 — начальная скорость, м/с;

r_d — характерный размер капли, м;

c_χ — безразмерный коэффициент сопротивления движению;

v_e — скорость оттока паров от границы испарения во фронте движения капли ($z \rightarrow Z_2$), м/с.

Безразмерный коэффициент сопротивления c_χ определялся согласно представлениям современной теории [24–29]. Функция коэффициента сопротивления от числа Рейнольдса, характеризующая влияние скорости движения v_d и размера r_d капли на силу сопротивления, при аппроксимации корреляционных кривых Шиллера–Неймана и Озеена имеет вид [23, 24]:

$$c_\chi = 24,3 \text{Re}^{-0,635}.$$

С учетом несферичности капли [26], нестационарного характера ее движения [27], наличия фазового перехода — испарения на поверхности обтекаемого тела [28] и конвективных течений внутри капли [29] для определения коэффициента сопротивления использовалось следующее выражение:

$$c_\chi = 24,3 k_g \frac{1}{B+1} \frac{1 + \frac{2}{3} \frac{\mu_2}{\mu_3}}{1 + \frac{\mu_2}{\mu_3}} (A+1)^{1,2 \pm 0,03} \text{Re}^{-0,635}, \quad (7)$$

где k_g — безразмерный геометрический коэффициент, учитывающий отклонение формы обтекаемого тела от сферы; для цилиндрических дисков $k_g = 1,64$ [25];

B — число переноса Сполдинга;

μ — динамическая вязкость, кг/(м·с);

A — безразмерный комплекс, характеризующий относительное ускорение капли.

В уравнении (7):

- $1/(B+1)$ — коэффициент, описывающий влияние процесса испарения капли на силу сопротивления [28];

$$B = \frac{C_2 (T_{3s} - T_{2s})}{Q_e + q_v / W_e},$$

где q_v — поток тепла к капле, Вт/м²;

- $1 + \frac{2}{3} \frac{\mu_2}{\mu_3} \left/ \left(1 + \frac{\mu_2}{\mu_3} \right) \right.$ — коэффициент, учитывающий возможные конвективные течения внутри капли [29].

Выражение $(A+1)^{1,2 \pm 0,03}$ в уравнении (7) характеризует ускоренное движение [27]:

$$A = \frac{d}{v_d^2} \frac{dv_d}{d\tau}.$$

Для вычисления скорости испарения капли воды использовалась формула [30]:

$$W_e = \frac{\beta}{1 - k_\beta \beta} \frac{(P^n - P)}{\sqrt{2\pi R_t T_e / M}},$$

где β — безразмерный коэффициент испарения;

k_β — безразмерный эмпирический коэффициент; $k_\beta \approx 0,4$ [31, 32];

P^n — давление насыщенных паров воды, Н/м²;

P — давление паров воды вблизи границы испарения, Н/м²;

R_t — универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К);

T_e — температура поверхности капли, К;

M — молярная масса, кг/кмоль.

Для вычисления давления паров воды применялось уравнение Клапейрона–Менделеева [33].

Толщина испаряющегося слоя капли l_e определялась по формуле

$$l_e = W_e \tau / \rho_2.$$

Система нестационарных нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных (1)–(6) с приведенными краевыми условиями решалась с использованием методов и алгоритмов, описанных в [34–37]. В отличие от постановок в [12–19] параметры временной сетки составили 10^{-8} – 10^{-7} с. Вблизи границ фазового перехода выполнялось сгущение пространственной сетки (до 50 узлов в области с характерными размерами 0,1 мм). Для оценки достоверности результатов численного анализа аналогично [12–19] выполнялась проверка консервативности используемой разностной схемы.

Результаты и обсуждение

Численные исследования выполнены при следующих значениях параметров процесса [38–42]: начальная температура капли воды $T_0 = 300$ К; температура продуктов сгорания лесных горючих материалов принималась равной средней температуре пожара $T_f = 1170$ К; тепловой эффект испарения воды $Q_e = 2,26$ МДж/кг; коэффициент испарения воды $\beta = 0,1$; начальные размеры капли воды $R_d = 0,025 \div 0,25$ мм, $Z_d = 0,1 \div 1$ мм; размеры области решения $R_L = 10$ мм, $Z_L = 10$ м; начальная скорость движения капли $v_0 = 0,5$ м/с. Теплофизические характеристики воды, водяных паров и продуктов сгорания лесных горючих материалов приведены в [38–42].

В таблице представлены значения основной интегральной характеристики рассматриваемых процессов тепломассопереноса — времени существования капли τ_d при варьировании ее характерных размеров R_d и Z_d в широких диапазонах. Использовалась система уравнений (1)–(6) и диффузионное приближение, которые в отличие от постановок в [12–14] учитывают влияние группы дополнительных факторов (несферичность капли [26], нестационарный характер ее движения [27], испарение на поверхности обтекаемого тела [28], конвективные течения внутри капли [29], скорость и размеры тела [23, 24]) на динамику перемещения водяной капли.

Установлено, что отклонения времен существования капли Δ для рассматриваемых конвективной и

диффузионной моделей не превышают 4 % (см. таблицу). С ростом размеров R_d и Z_d эти отклонения несколько уменьшаются (до 2 %). Можно прогнозировать, что при рассмотрении “водяных снарядов”, как некоторой совокупности достаточно больших ($R_d > 0,5$ мм) капель, отклонения Δ будут менее 1 %. Полученные значения Δ для времен τ_d (см. таблицу) можно объяснить, проведя анализ изолиний основных функций в рассматриваемой системе *высокотемпературные продукты сгорания – капля воды* (см. рис. 1): температуры T , концентраций паров воды γ_w , функции тока ψ и вихря скорости ω (рис. 2).

Представленные на рис. 2 изотермы и изолинии концентраций паров воды хорошо коррелируют с результатами работ [12–14]. В частности, можно отметить незначительное изменение изолиний T и γ_w в окрестности капли (особенно торцевой и боковой поверхностей) относительно аналогичных распределений, полученных с использованием диффузионных приближений [12–14].

Изолинии функции тока (см. рис. 2, в) и вихря скорости (см. рис. 2, г) иллюстрируют динамику образования контуров завихрений в следе движения капли. При этом с удалением капли на оси симметрии формируется достаточно большая по размерам вихревая структура. Это можно объяснить тем, что при вхождении капли в область высокотемпературных газов вблизи боковых граней обтекаемого тела в форме цилиндрического диска формируются локальные контуры завихрений (см. рис. 2, г). В процессе движения капли эти вихри вытягиваются в направлении перемещения. При достижении задней грани капли боковые вихри объединяются с угловыми ($r \rightarrow R_1$, $z \rightarrow Z_1$). Таким образом, несмотря на менее интенсивное испарение капли на задней стенке (температура обтекающих газов существенно ниже T_f) в этой области формируются завихрения с большими продольными и поперечными характерными размерами. Рассматриваемые вихревые структуры в плоской постановке задачи по форме представляют собой эллипсы, вытянутые вдоль задней стенки капли ($0 < r < R_1$, $z \rightarrow Z_1$). Вследствие интенсивного притока паров с боковых граней капли и их уноса завихрения в следе вытягиваются вдоль оси симметрии — линии, соответствующей траектории перемещения капли ($r \rightarrow 0$, $Z_1 < z < Z_L$).

Интегральные характеристики испарения одиночных капель воды с различными характерными размерами R_d и Z_d

Характеристика	R_d/Z_d , мм					
	0,025/0,1	0,05/0,2	0,1/0,4	0,15/0,6	0,2/0,8	0,25/1
τ_d , с	0,0102	0,0316	0,1135	0,2021	0,2916	0,4182
τ_d , с (диффузионное приближение)	0,0106	0,0327	0,1171	0,2081	0,2993	0,4274
Δ , %	3,774	3,363	3,074	2,931	2,573	2,152

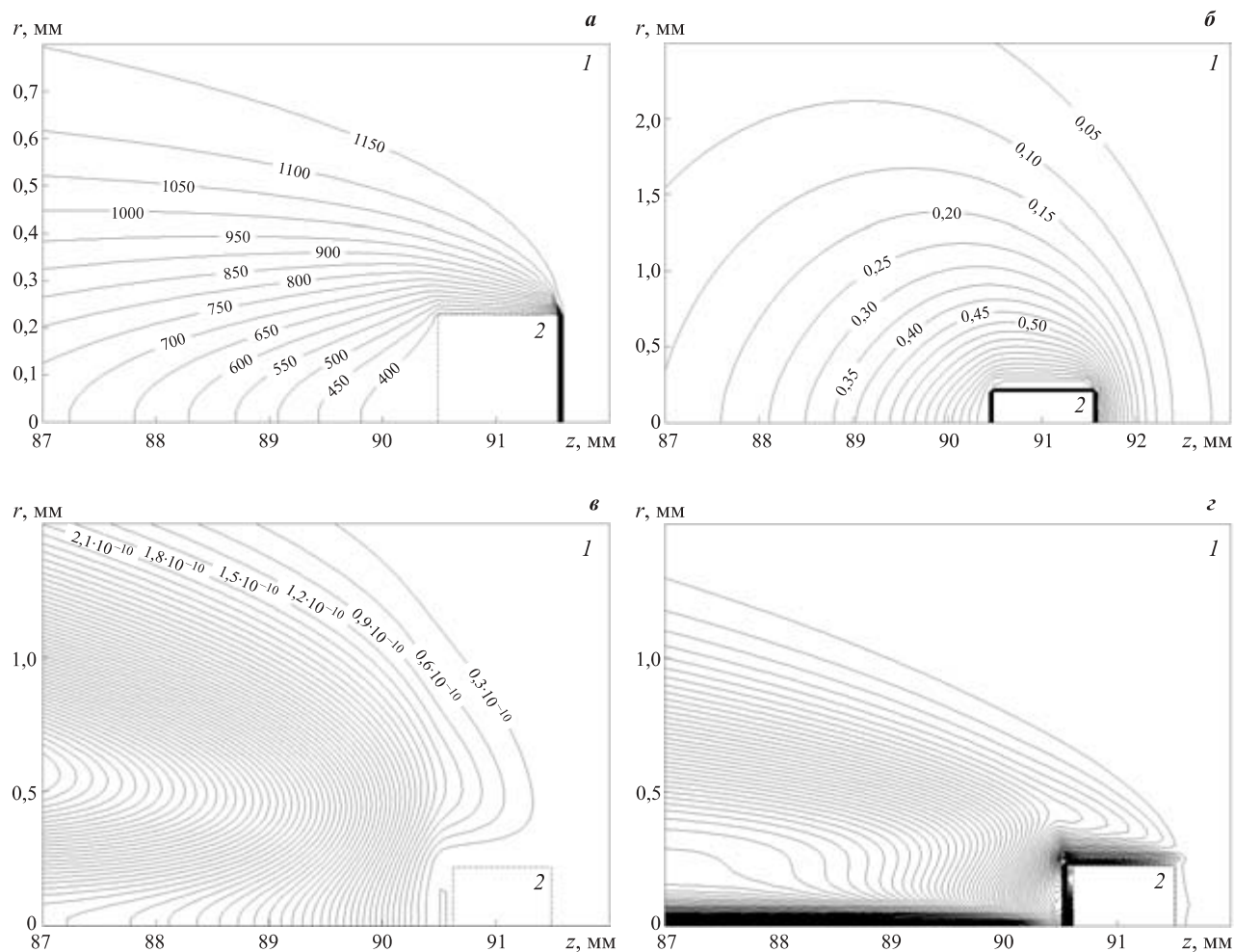


Рис. 2. Изотермы T , К (а), изолинии концентраций паров воды γ_w (б), функции тока ψ , $\text{м}^2/\text{с}$ (в) и вихря скорости ω , с^{-1} (з) при $\tau = 0,1$ с, $R_d = 0,25$ мм, $Z_d = 1$ мм: 1 — смесь продуктов сгорания и водяных паров; 2 — капля воды

Как следствие, в рассматриваемой системе (см. рис. 1) формируется группа локальных вихревых структур в окрестности боковых граней капли и основной вихрь в ее следе (см. рис. 2, з).

Важно отметить, что рассматриваемые завихрения (см. рис. 2, з) приводят к некоторой интенсификации теплообмена на поверхности капли. Так, относительно холодные водяные пары уносятся в след капли с торцевой и боковых поверхностей, что вызывает интенсификацию фазового перехода в окрестности фронтальной поверхности ($z \rightarrow Z_2$). Однако вследствие вихревого движения относительно холодных паров несколько замедляется фазовый переход вблизи основания капли ($z \rightarrow Z_1$). Отсюда можно сделать вывод, что в условиях конвекции в смеси водяных паров и продуктов сгорания испарение несколько интенсифицируется на торцевой поверхности капли и замедляется на боковых и особенно на задней (по направлению движения капли) поверхностях. Вместе с тем интегральные характеристики испарения (в частности, времена испарения τ_d) меняются незначительно (см. таблицу).

Следует подчеркнуть, что влияние конвективных течений на условия испарения капель можно считать умеренным только при их движении с относительно невысокими скоростями (до 10 м/с). При больших скоростях движения капли высока вероятность перехода в область турбулентного теплообмена [43, 44]. Поэтому рассматриваемую ламинарную постановку задачи (1)–(6) правомерно использовать при умеренных скоростях v_d , соответствующих типичным условиям тушения пожаров.

Полученные изолинии основных функций (см. рис. 2) и численные значения τ_d (см. таблицу) показывают, что сформулированная модель, учитывающая взаимосвязанные процессы диффузионно-конвективного теплопереноса, позволяет несколько детализировать условия прогрева и последующего испарения капли при ее движении через высокотемпературные газы, а также процессы смешения паров с продуктами сгорания в следе капли. Однако существенное усложнение модели теплопереноса не приводит к значительному уточнению интегральных характеристик процесса (см. табли-

цу). Оценивая требуемые для постановки (1)–(6) вычислительные и временные ресурсы, можно сделать вывод о том, что при количественных оценках характеристик испарения капель (в частности, времен существования τ_d) целесообразно использовать упрощенные диффузионные подходы, аналогичные приведенным в [12–19].

В то же время важно отметить, что интенсивное формирование вихревых структур в следе движения капель воды (см. рис. 2,в и 2,г) достаточно существенно влияет на устойчивость “температурных” и “концентрационных” следов (областей с пониженными относительно начальной T_f температурами газов и концентрациями продуктов сгорания ($\gamma_f > 0$)). В частности, модель (1)–(6) позволила установить, что после прохождения капель расстояния, равного $(12 \div 14)Z_d$, температура в ее следе достигает начальной T_f (происходит сужение “температурного” следа). Диффузионные модели [12–19] показали, что эти расстояния составляют около $(15 \div 17)Z_d$. Для “концентрационных” следов отклонения по рассматриваемым расстояниям для несколько упрощенной диффузионной и наиболее полной постановки (см. рис. 1) составили около $(2 \div 3)Z_d$. Можно прогнозировать, что при рассмотрении условий движения совокупности капель через высокотемпературные продукты сгорания отклонения геометрических характеристик “температурных” и “концентрационных” следов для анализируемых моделей тепломассопереноса будут несколько больше. Это свидетельствует о том, что при численном анализе распределения T

и γ_f после прохождения капли воды через высокотемпературные продукты сгорания целесообразно использовать подходы, учитывающие механизмы и конвективного, и диффузионного массопереноса, например систему нестационарных дифференциальных уравнений (1)–(6) с соответствующими крайними условиями.

Заключение

Сопоставление результатов численного моделирования диффузионно-конвективных процессов тепломассопереноса при испарении водяной капли, движущейся через высокотемпературные продукты сгорания, с использованием наиболее полной и несколько упрощенной моделей показало, что при количественной оценке интегральных характеристик рассматриваемых процессов правомерно использовать диффузионные приближения, аналогичные приведенным в [12–19]. Постановки с учетом диффузионно-конвективных механизмов массопереноса, например модель (1)–(6), целесообразно применять при уточнении и объяснении макроскопических закономерностей рассматриваемых процессов. В частности, важно применение таких моделей при анализе устойчивости областей с пониженными температурами и концентрациями продуктов сгорания в следе движения капель.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации (МК-620.2012.8).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wighus R. Water mist fire suppression technology — status and gaps in knowledge // Proceedings of the International Water Mist Conference. — Vienna, 2001. — P. 1–26.
2. Karpov A. I., Novozhilov V. B., Galat A. A., Bulgakov V. K. Numerical modeling of the effect of fine water mist on the small scale flame spreading over solid combustibles // Fire Safety Science : Proceeding of Eight International Symposium, September 18–23, 2005, Beijing, China. — International Association for Fire Safety Science, 2005. — Vol. 27. — P. 753–764.
3. Копылов Н. П., Чибисов А. Л., Душкин А. Л., Кудрявцев Е. А. Изучение закономерностей тушения тонкораспыленной водой модельных очагов пожара // Пожарная безопасность. — 2008. — № 4. — С. 45–58.
4. Корольченко Д. А., Громоной В. Ю., Ворогушин О. О. Применение тонкораспыленной воды для тушения пожаров в высотных зданиях // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 9. — С. 54–57.
5. Саламов А. А. Современная система пожаротушения “водяной туман” высокого давления // Энергетик. — 2012. — № 3. — С. 16–18.
6. Андрияшкин А. Ю., Пелех М. Т. Эффективность пожаротушения тонкораспыленной водой // Проблемы управления рисками в техносфере. — 2012. — Т. 21, № 1. — С. 64–69.
7. Ковалев А. Н., Журавлева Л. А. Перспективные направления тушения низовых лесных и степных пожаров // Научная жизнь. — 2012. — № 4. — С. 153–157.
8. Бондарь А. А., Решетов А. П., Иванов А. Ю. Математическое моделирование времени тушения пожаров тонкораспыленной водой по результатам эксперимента в замкнутых объемах // Вестник Санкт-петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. — 2012. — № 1. — С. 82–88.

9. Карпов А. И., Новожилков В. Б., Галат А. А., Тонков Л. Е., Лецев А. Ю., Шумихин А. А. Исследование закономерностей распространения пламени в условиях его подавления мелкодисперсной водной завесой // Химическая физика и мезоскопия. — 2008. — Т. 10, № 4. — С. 387–395.
10. Гурьев Ю. В., Ткаченко И. В., Еремин Ю. С. Анализ методов компьютерного моделирования процесса распыления из оросителя тонкораспыленной воды // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 10. — С. 77–80.
11. Гурьев Ю. В., Ткаченко И. В., Еремин Ю. С. Использование методов численного моделирования в проектировании оросителей автоматических установок пожаротушения тонкораспыленной водой // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 2. — С. 78–84.
12. Волков Р. С., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Численная оценка оптимальных размеров капель воды в условиях ее распыления средствами пожаротушения в помещениях // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 5. — С. 74–78.
13. Глушков Д. О., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Численное исследование тепломассопереноса при движении “тандема” капель воды в высокотемпературной газовой среде // Тепловые процессы в технике. — 2012. — Т. 4, № 12. — С. 531–538.
14. Стрижак П. А. Численное исследование условий испарения совокупности капель воды при движении в высокотемпературной газовой среде // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 8. — С. 26–31.
15. Волков Р. С., Высокоморная О. В., Стрижак П. А. Численное исследование условий взаимодействия диспергированного флегматизатора горения с высокотемпературными продуктами сгорания // Безопасность труда в промышленности. — 2012. — № 10. — С. 74–79.
16. Андреев Г. Г., Глушков Д. О., Панин В. Ф., Стрижак П. А. Тепломассоперенос при взаимодействии диспергированного флегматизатора горения с высокотемпературными продуктами сгорания // Бутлеровские сообщения. — 2012. — Т. 31, № 8. — С. 86–94.
17. Стрижак П. А. Численный анализ процесса испарения капли, движущейся в струе воды через высокоскоростные продукты сгорания // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 9. — С. 17–22.
18. Высокоморная О. В., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Тепломассоперенос при движении капель воды в высокотемпературной газовой среде // Инженерно-физический журнал. — 2013. — Т. 86, № 1. — С. 59–65.
19. Жданова А. О., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Влияние распределения капель воды в “водяном снаряде” на температуру в его следе // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 2. — С. 9–17.
20. Пасконов В. М., Полежаев В. И., Чудов Л. А. Численное моделирование процессов тепло- и массообмена. — М. : Наука, 1984. — 277 с.
21. Франк-Каменецкий Д. А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. — М. : Наука, 1987. — 490 с.
22. Роуч П. Дж. Вычислительная гидродинамика. — М. : Мир, 1980. — 616 с.
23. Терехов В. И., Пахомов М. А. Тепломассоперенос и гидродинамика в газочапельных потоках. — Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2009. — 284 с.
24. Нигматулин Р. И. Основы механики гетерогенных сред. — М. : Наука, 1978. — 336 с.
25. Медников Е. П. Турбулентный перенос и осаждение аэрозолей. — М. : Наука, 1981. — 176 с.
26. Шрайбер А. А., Гавин Л. Б., Наумов В. А., Яценко В. П. Турбулентные течения газозвесей. — Киев : Наукова думка, 1987. — 239 с.
27. Tchen C. M. Mean value and correlation problems connected with the motion of small particles suspended in a turbulent fluid. The Hague. — Martinus Nijhoff, 1947. — 123 p.
28. Eisenklam P., Arunachalam S. A., Weston J. A. Evaporation rates and drag resistance of burning drops // Proc. 11th Symp. on Combustion. — Pittsburgh, USA, 1987. — P. 715–728.
29. Соу С. Гидродинамика многофазных систем. — М. : Наука, 1971. — 535 с.
30. Муратова Т. М., Лабунцов Д. А. Кинетический анализ процессов испарения и конденсации // Теплофизика высоких температур. — 1969. — Т. 7, № 5. — С. 959–967.
31. Кнаке О., Странский И. Н. Механизм испарения // Успехи физических наук. — 1959. — Т. 68, № 2. — С. 261–305.
32. Авдеев А. А., Зудин Ю. Б. Кинетический анализ интенсивного испарения (метод обратных балансов) // Теплофизика высоких температур. — 2012. — Т. 50, № 4. — С. 565–574.
33. Кутателадзе С. С. Основы теории теплообмена. — М. : Атомиздат, 1979. — 416 с.
34. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Численное решение задачи воспламенения жидкого пожароопасного вещества одиночной “горячей” частицей // Физика горения и взрыва. — 2009. — Т. 45, № 5. — С. 42–50.

35. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. The influence of heat transfer conditions at the hot particle – liquid fuel interface on the ignition characteristics // Journal of Engineering Thermophysics. — 2009. — Vol. 18, No. 2. — P. 162–167.
36. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Transient heat and mass transfer at the ignition of vapor and gas mixture by a moving hot particle // International Journal of Heat and Mass Transfer. — 2010. — Vol. 53. — P. 923–930.
37. Strizhak P. A. Characteristics of heat and mass transfer at ignition of a thin film of condensed liquid substance by hot particles of different configuration // Journal of Engineering Thermophysics. — 2011. — Vol. 20, No. 4. — P. 459–467.
38. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник. — М. : Пожнаука, 2004. — Ч. 1. — 713 с.
39. Кузнецов Г. В., Барановский Н. В. Прогноз возникновения лесных пожаров и их экологических последствий. — Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2009. — 301 с.
40. Варгафтик Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. — М. : ООО “Старс”, 2006. — 720 с.
41. Теплотехнический справочник / Под ред. В. Н. Юренева, П. Д. Лебедева. — М. : Энергия, 1975. — Т. 1. — 743 с.
42. Теплотехнический справочник / Под ред. В. Н. Юренева, П. Д. Лебедева. — М. : Энергия, 1975. — Т. 2. — 896 с.
43. Исаев С. А., Баранов П. А., Пригородов Ю. С., Судаков А. Г., Усачов А. Е. Численный анализ влияния сжимаемости на турбулентное, симметричное обтекание вязким газом цилиндра с круговой вихревой ячейкой // Инженерно-физический журнал. — 2008. — Т. 81, № 2. — С. 330–337.
44. Исаев С. А., Лысенко Д. А. Тестирование численных методов, конвективных схем, алгоритмов аппроксимации потоков и сеточных структур на примере сверхзвукового течения в ступенчатом канале с помощью пакетов Cfx и Fluent // Инженерно-физический журнал. — 2009. — Т. 82, № 2. — С. 326–330.

Материал поступил в редакцию 18 марта 2013 г.

English

NUMERICAL ANALYSIS OF DIFFUSION AND CONVECTION HEAT AND MASS TRANSFER PROCESSES AT THE MOVING OF WATER DROPS THROUGH HIGH COMBUSTION PRODUCTS

STRIZHAK P. A., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor,
National Research Tomsk Polytechnic University (Lenina Avenue, 30, Tomsk, 634050,
Russian Federation; e-mail address: pavelspa@tpu.ru)

ABSTRACT

Heat and mass transfer model is presented in article. This model describes main interrelated processes (thermal conductivity, diffusion, convection, evaporation) at the moving of sprayed water single drop through the high-temperature combustion products. Numerical evaluation of the deviations for integral characteristics of the evaporation process, derived with using of diffusion approach, which ignores the formation of convective flows in the emerging mixture of combustion products and water vapor, is carried out. It is shown that the life time of drop τ_d differ by no more than 4 %. It is found that with increasing droplet sizes deviations τ_d reduced to 2 %.

Also validity of diffusion models using in numerical investigation of heat and mass transfer processes in the wake of drops is analyzed. It is found that the removal of drops at a distance corresponding to several tens of characteristic longitudinal sizes, convection leads to some (to 15–20 %) reduction in the longitudinal and transverse dimensions of “temperature” and “concentration” tracks — areas with lower values of the temperature of the combustion products relative to the start and their concentrations. It is shown that in these conditions it is advisable to use models that include convective and diffusion mechanisms of mass transfer.

Keywords: fire; quenching; “water shell”; sprayed water; water drops; diffusion; convection; simulation.

REFERENCES

1. Wighus R. Water mist fire suppression technology — status and gaps in knowledge. *Proceedings of the International Water Mist Conference*. Vienna, 2001, pp. 1–26.
2. Karpov A. I., Novozhilov V. B., Galat A. A., Bulgakov V. K. Numerical modeling of the effect of fine water mist on the small scale flame spreading over solid combustibles. *Fire Safety Science: Proceeding of Eight International Symposium, September 18–23, 2005, Beijing, China*. International Association for Fire Safety Science, 2005, vol. 27, pp. 753–764.
3. Kopylov N. P., Chibisov A. L., Dushkin A. L., Kudryavtsev E. A. Izucheniye zakonornostey tushe-niya tonkoraspylyennoy vodoy modelnykh ochagov pozhara [Study of the patterns for water mist fire model site]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2008, no. 4, pp. 45–48.
4. Korol'chenko D. A., Gromovoy V. Yu., Vorogushin O. O. Primeneniye tonkoraspylyennoy vody dlya tusheniya pozharov v vysotnykh zdaniyakh [Fire extinguishing in tall buildings by using water mist systems]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 9, pp. 54–57.
5. Salamov A. A. Sovremennaya sistema pozharotusheniya “vodyanoy tuman” vysokogo davleniya [Modern fire suppression system “water mist” high pressure]. *Energetik — Energetic*, 2012, no. 3, pp. 16–18.
6. Andrushkin A. Yu., Pelekh M. T. Effectivnost pozharotusheniya tonkoraspylyennoy vodoy [The effectiveness of water mist fire suppression]. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere — Risk management into the technosphere*, 2012, vol. 21, no. 1, pp. 64–69.
7. Kovalyev A. N., Zhuravlyeva L. A. Perspektivnyye napravleniya tusheniya nizovykh lesnykh i stepnykh pozharov [Perspective directions of quenching fire ground forest and grassland fire]. *Nauchnaya zhizn — Academic Life*, 2012, no. 4, pp. 153–157.
8. Bondar A. A., Reshetov A. P., Ivanov A. Yu. Matematicheskoye modelirovaniye vremeni tusheniya pozharov tonkoraspylyennoy vodoy po rezul'tatam eksperimenta v zamknutykh ob'yemakh [Mathematical modeling of time firefighting water mist on the results of the experiment in confined spaces]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii — Bulletin of St. Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia*, 2012, no. 1, pp. 82–88.
9. Karpov A. I., Novozhilov V. B., Galat A. A., Tonkov L. E., Leshchev A. Yu., Shumikhin A. A. Issledovaniye zakonornostey rasprostraneniya plameni v usloviyakh ego podavleniya melkodispersnoy vodnoy zavesoy [Study patterns of flame propagation in its suppression of fine water curtain]. *Khimicheskaya fizika i mezoskopiya — Chemical Physics and Mesoscopic*, 2008, vol. 10, no. 4, pp. 387–395.
10. Guryev Yu. V., Tkachenko I. V., Eryemin Yu. S. Analiz metodov kompyuternogo modelirovaniya protsessa raspyleniya iz orositelya tonkoraspylyennoy vody [Analysis of computer modeling methods for spraying process in irrigator with water spray]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 10, pp. 77–80.
11. Guryev Yu. V., Tkachenko I. V., Eryemin Yu. S. Ispolzovaniye metodov chislennogo modelirovaniya v proektirovanii orositelya avtomaticheskikh ustanovok pozharotusheniya tonkoraspylyennoy vodoy [Computational modeling methods in design of irrigator with water spray]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 2, pp. 78–84.
12. Volkov R. S., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Chislennaya otsenka optimalnykh razmerov kapel vody v usloviyakh yeye raspyleniya sredstvami pozharotusheniya v pomeshcheniyakh [Numerical estimation of optimum sizes for water drops at the conditions of its dispersion by firefighting devices at placements]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 5, pp. 74–78.
13. Glushkov D. O., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Chislennoye issledovaniye teplomassoperenosa pri dvizhenii “tandema” kapel vody v vysokotemperaturnoy gazovoy srede [Numerical investigation of heat and mass transfer during the motion of the “tandem” of water droplets in the high temperature gas phase]. *Teplovyie processy v tekhnike — Thermal Processes in Engineering*, 2012, vol. 4, no. 12, pp. 531–538.
14. Strizhak P. A. Chislennoye issledovaniye usloviy ispareniya sovokupnosti kapel vody pri dvizhenii v vysokotemperaturnoy gazovoy srede [Numerical investigation of evaporation conditions for set of water drops at the moving after high temperature gas mixture]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 8, pp. 26–31.
15. Volkov R. S., Vysokomornaya O. V., Strizhak P. A. Chislennoye issledovaniye usloviy vzaimodeystviya dispergirovannogo flegmatizatora goreniya s vysokotemperaturnymi produktami sgoraniya [Numerical investigation of the conditions of interaction of dispersed phlegmatizer burning with high temperature combustion]. *Bezopasnost truda v promyshlennosti — Safety in Industry*, 2012, no. 10, pp. 74–79.

16. Andreev G. G., Glushkov D. O., Panin V. F., Strizhak P. A. Teplomassoperenos pri vzaimodeystvii dispergirovannogo flegmatizatora goreniiya s vysokotemperaturnymi produktami sgoraniya [Heat and mass transfer in the interaction of dispersed phlegmatizer burning with high temperature combustion]. *Butlerovskiyе soobshcheniya — Butlerov Communications*, 2012, vol. 31, no. 8, pp. 86–94.
17. Strizhak P. A. Chislennyy analiz protsessа ispareniya kapli, dvizhushcheysya v struye vody cherez vysokoskorostnyye produkty sgoraniya [Numerical analysis of evaporation process for droplet moving at the water jet through high temperature combustion products]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 9, pp. 17–22.
18. Vysokomornaya O. V., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Teplomassoperenos pri dvizhenii kapel vody v vysokotemperaturnoy gazovoy srede [Heat and mass transfer at the motion of water droplets in a high gas phase]. *Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal — Journal of Engineering Physics*, 2013, vol. 86, no. 1, pp. 59–65.
19. Zhdanova A. O., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Vliyaniye raspredeleniya kapel vody v “vodyanom snaryade” na temperaturu v yego slede [Influence of water droplets distribution in the “water shell” on temperature in follow movement]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 2, pp. 9–17.
20. Paskonov V. M., Polezhaev V. I., Chudov L. A. *Chislennoye modelirovaniye processov teplo- i massoobmena* [Numerical modeling of heat and mass transfer]. Moscow, Nauka Publ., 1984. 277 p.
21. Frank-Kamenetskiy D. A. *Diffuziya i teploperedacha v khimicheskoy kinetike* [Diffusion and heat transfer in chemical kinetics]. Moscow, Nauka Publ., 1987. 490 p.
22. Rouch P. J. *Vychislitel'naya gidrodinamika* [Computational hydrodynamics]. Moscow, Mir Publ., 1980. 616 p.
23. Terekhov V. I., Pakhomov M. A. *Teplomassoperenos i gidrodinamika v gazokapelnnykh potokakh* [Heat and mass transfer and hydrodynamics in gas-drop flow]. Novosibirsk, NGTU Publ., 2009. 284 p.
24. Nigmatulin R. I. *Osnovy mekhaniki geterogennykh sred* [Fundamentals of mechanics for heterogeneous media]. Moscow, Nauka Publ., 1978. 336 p.
25. Mednikov E. P. *Turbulentnyy perenos i osazhdeniye aerorozley* [Turbulent transport and deposition of aerosols]. Moscow, Nauka Publ., 1981. 176 p.
26. Shrayber A. A., Gavin L. B., Naumov V. A., Yatsenko V. P. *Turbulentnyye techeniya gazovzvesey* [Turbulent flow of a gas suspensions]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1987. 239 p.
27. Tchen C. M. Mean value and correlation problems connected with the motion of small particles suspended in a turbulent fluid. The Hague. Martinus Nijhoff, 1947. 123 p.
28. Eisenklam P., Arunachalam S. A., Weston J. A. Evaporation rates and drag resistance of burning drops. *Proc. 11th Symp. on Combustion*. Pittsburgh, USA, pp. 715–728.
29. Sou S. *Gidrodinamika mnogofaznykh system* [Hydrodynamics of multiphase systems]. Moscow, Nauka Publ., 1971. 535 p.
30. Muratova T. M., Labuntsov D. A. Kineticheskiy analiz protsessov ispareniya i kondensatsii [Kinetic analysis of evaporation and condensation processes]. *Teplofizika vysokikh temperatur — Thermophysics of High Temperatures*, 1969, vol. 7, no. 5, pp. 959–967.
31. Knake O., Stranskiy I. N. Mekhanizm ispareniya [Evaporation mechanism]. *Uspekhi fizicheskikh nauk — Headway of Physical Sciences*, 1959, vol. 68, no. 2, pp. 261–305.
32. Avdeev A. A., Zudin Yu. B. Kineticheskiy analiz intensivnogo ispareniya (metod obratnykh balansov) [Kinetic analysis of intensive evaporation (the method of inverse balances)]. — *Teplofizika vysokikh temperatur — Thermophysics of High Temperatures*, 2012, vol. 50, no. 4, pp. 565–574.
33. Kutateladze S. S. *Osnovy teorii teploobmena* [Foundations of the theory of heat transfer]. Moscow, Atomizdat Publ., 1979. 416 p.
34. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Chislennoye resheniye zadachi vosplameneniya zhidkogo požaropasного veshchestva odinochnoy “goryachey” chastitsey [Numerical solution to the ignition of liquid fire hazardous substances single “hot” particle]. *Fizika goreniiya i vzryva — Physics of Combustion and Explosion*, 2009, vol. 45, no. 5, pp. 42–50.
35. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. The influence of heat transfer conditions at the hot particle – liquid fuel interface on the ignition characteristics. *Journal of Engineering Thermophysics*, 2009, vol. 18, no. 2, pp. 162–167.
36. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Transient heat and mass transfer at the ignition of vapor and gas mixture by a moving hot particle. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2010, vol. 53, pp. 923–930.
37. Strizhak P. A. Characteristics of heat and mass transfer at ignition of a thin film of condensed liquid substance by hot particles of different configuration. *Journal of Engineering Thermophysics*, 2011, vol. 20, no. 4, pp. 459–467.

38. Korol'chenko A. Ya., Korol'chenko D. A. *Pozharovzryvoopasnost veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya: spravochnik* [Fire and explosion hazard of substances and materials and their means of fighting: reference]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2004. Part 1, 713 p.
39. Kuznetsov G. V., Baranovskiy N. V. *Prognoz vozniknoveniya lesnykh pozharov i ikh ekologicheskikh posledstviy* [Prediction of forest fires and their environmental impacts]. Novosibirsk, 2009. 301 p.
40. Vargaftik N. B. *Spravochnik po teplofizicheskim svoystvam gazov i zhidkostey* [Reference for thermophysical properties of gases and liquids]. Moscow, Stars Publ., 2006. 720 p.
41. Yurenev V. N., Lebedev P. D. (eds.) *Teplotekhnicheskiy spravochnik* [Thermophysical reference]. Moscow, Energiya Publ., 1975. Vol. 1, 743 p.
42. Yurenev V. N., Lebedev P. D. (eds.) *Teplotekhnicheskiy spravochnik* [Thermophysical reference]. Moscow, Energiya Publ., 1975. Vol. 2, 896 p.
43. Isaev S. A., Baranov P. A., Prigorodov Yu. S., Sudakov A. G., Usachev A. Ye. Chislennyy analiz vliyaniya szhimaemosti na turbulentnoye, simmetrichnoye obtekaniye vyazkim gazom tsilindra s krugovoy vikhrevoi yacheykoy [Numerical analysis of the compressibility effects on turbulent, viscous flow around a symmetrical cylinder with a circular vortex cell]. *Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal — Journal of Engineering Physics*, 2008, vol. 81, no. 2, pp. 330–337.
44. Isaev S. A., Lysenko D. A. Testirovaniye chislennykh metodov, konvektivnykh skhem, algoritmov approksimatsii potokov i setochnykh struktur na primere sverkhzvukovogo techeniya v stupenchatom kanale s pomoshchyu paketov Cfx i Fluent [Testing of numerical methods, convection schemes, algorithms, approximation of the fluxes and grid structures on the example of the supersonic flow in a stepped channel with packet Cfx and Fluent]. *Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal — Journal of Engineering Physics*, 2009, vol. 82, no. 2, pp. 326–330.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

ОГНЕТУШИТЕЛИ. УСТРОЙСТВО. ВЫБОР. ПРИМЕНЕНИЕ Д. А. Корольченко, В. Ю. Громовой



В учебном пособии приведены классификация огнетушителей и конструкции основных их типов, средства тушения, используемые для зарядки огнетушителей, виды огнетушителей и правила их применения для ликвидации загораний различных веществ, рекомендации по расчету необходимого количества огнетушителей для разных объектов, по их размещению, хранению и техническому обслуживанию.

Рекомендации, содержащиеся в книге, разработаны на основе современных нормативных документов, регламентирующих конструкцию, условия применения, правила эксплуатации и технического обслуживания огнетушителей.

Учебное пособие рассчитано на широкий круг читателей: инженерно-технических работников предприятий и организаций, ответственных за оснащение объектов огнетушителями, поддержание их в работоспособном состоянии и своевременную перезарядку; преподавателей курсов пожарно-технического минимума и дисциплины «Основы безопасности жизнедеятельности» в средних и высших учебных заведениях; частных лиц, выбирающих огнетушитель для обеспечения безопасности квартиры, дачи или автомобиля.

121352, г. Москва, а/я 43; тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: mail@firepress.ru

С. Г. АЛЕКСЕЕВ, канд. хим. наук, доцент, чл.-корр. ВАН КБ, старший научный сотрудник Научно-инженерного центра “Надежность и ресурс больших систем и машин” УрО РАН (Россия, 620049, г. Екатеринбург, ул. Студенческая, 54а), старший научный сотрудник Уральского института Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: Alexshome@mail.ru)

А. С. АВДЕЕВ, начальник сектора ГУ “Судебно-экспертное учреждение ФПС “Испытательная пожарная лаборатория по Пермскому краю” (Россия, 614990, г. Пермь, ул. Большевикская, 53а; e-mail: asipl@ugps.perm.ru)

Н. М. БАРБИН, д-р техн. наук, канд. хим. наук, заведующий кафедрой химии Уральской государственной сельскохозяйственной академии (Россия, 620075, г. Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, 42), старший научный сотрудник Уральского института Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: NMBarbin@mail.ru)

С. А. ТИМАШЕВ, д-р техн. наук, профессор, директор Научно-инженерного центра “Надежность и ресурс больших систем и машин” УрО РАН (Россия, 620049, г. Екатеринбург, ул. Студенческая, 54а; e-mail: TimashevS@wekt.ru)

Е. С. ГУРЬЕВ, канд. техн. наук, доцент, заместитель директора Научно-инженерного центра “Надежность и ресурс больших систем и машин” УрО РАН (Россия, 620049, г. Екатеринбург, ул. Студенческая, 54а; e-mail: sec@wekt.ru)

УДК 614.84:665.74

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ВЗРЫВОПОЖАРООПАСНОСТИ ТОПЛИВОВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ НА ПРИМЕРЕ КЕРОСИНА МАРКИ РТ. VI. TNO-МЕТОДЫ (часть 1)¹

Выполнен расчет параметров взрыва топливовоздушной смеси по TNT-эквивалентному и мультиэнергетическому методам на примере керосина РТ. Проведен сравнительный анализ прогноза зон разрушения по TNO-методам и отечественным методикам. Показана хорошая сопоставимость параметров, полученных мультиэнергетическим методом и по методике РБ Г-05-039—96.

Ключевые слова: взрыв; керосин; топливовоздушная смесь; избыточное давление.

В предыдущих работах [1–5] нами анализировались возможности отечественных расчетных методов Госатомнадзора, Госгортехнадзора и МЧС России на примере решения задачи, связанной с разливом авиационного топлива марки РТ. В настоящей статье продолжено рассмотрение возможностей существующих методик оценки взрывопожароопасности топливовоздушных смесей (далее — ТВС). Объектом настоящего исследования явились широко используемые за рубежом методики расчета TNO — Нидерландской организации прикладных научных исследований (Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek). Данная организация является разработчиком “цветных книг”, которые являются практическими пособиями для решения широкого круга практических задач [6–9]. Вопросы испарения жидкостей и взрывоопасности газо- и паровоздушных смесей рассмотрены в “желтой книге” [7]. В 3-м (исправленном)

издании 2005 г. для оценки взрывоопасности газов и паров воспламеняющихся жидкостей² предложены два способа — TNT-эквивалентный (TNT-equivalency) и мультиэнергетический (Multi-energy)³.

TNT-эквивалентный метод

TNT-эквивалентный метод возник во времена холодной войны для прогнозирования последствий ядерных и термоядерных ударов по объектам различного назначения, но это не стало препятствием для его последующего применения в расследовании промышленных аварий и инцидентов, связанных со взрывами различной природы. Данный метод постоянно развивается и совершенствуется. Он оказал

¹ Продолжение. Начало см. в журнале “Пожаровзрывобезопасность”, № 5 за 2010 г., № 1 за 2011 г., № 1, 6 и 8 за 2012 г.

² За рубежом при описании взрывов газопаровоздушных смесей различия между паром и газом не делается и используется словосочетание “vapor cloud explosion” (VCE).

³ Во 2-м издании “желтой книги” (1988 г.) использовались другие расчетные модели, которые из-за низкой эффективности были заменены на TNT-эквивалентный и мультиэнергетический методы [7]. Сравнительный анализ этих моделей с отечественными методиками приведен в работе [10].

влияние на отечественные подходы к оценке взрывоопасности газо- и паровоздушных смесей [11, 12], в которых также используется ТНТ-эквивалентный подход.

В основе ТНТ-эквивалентного метода заложено базовое уравнение

$$Q_{\text{TNT}} = \alpha_e \frac{Q_f E_{mf}}{E_{m\text{TNT}}}, \quad (1)$$

где Q_{TNT} — эквивалентная масса горючего вещества (ГВ) по ТНТ, кг;

α_e — ТНТ-эквивалент по энергии; $\alpha_e = 0,1$ [7];

E_{mf} — удельная высшая теплота сгорания ГВ; для керосина РТ $E_{mf} = 45,847 \cdot 10^6$ Дж/кг [1];

$E_{m\text{TNT}}$ — удельная энергия взрыва ТНТ, Дж/кг;

$E_{m\text{TNT}} = (4,19 \div 4,65) \cdot 10^6$ Дж/кг [7];

Q_f — масса ГВ⁴, кг.

Для нахождения массы паров авиакеросина, которая должна образоваться в результате испарения топлива в условиях расчетной аварийной ситуации⁵, необходимо определить скорость испарения авиа топлива q_v'' (кг/(м²·с)). Для этого предложены следующие эмпирические уравнения [7, 13, 14]:

$$q_v'' = 0,004786(u_{w,10})^{0,78} (2r_p)^{-0,11} \text{Sc}^{-0,67} \frac{P_v \mu}{R T_{ps}}; \quad (2)$$

$$q_v'' = 0,00482(u_{w,10})^{0,78} (2r_p)^{-0,11} \text{Sc}^{-0,67} \frac{P_v \mu}{R T_{ps}}; \quad (2a)$$

$$q_v'' = 0,002(u_{w,10})^{0,78} (2r_p)^{-0,11} \times \times \frac{\mu}{R T_{ps}} \ln \left(1 + \frac{P_v}{P_0 - P_v} \right), \quad (3)$$

где $u_{w,10}$ — скорость воздушного потока на стандартной высоте 10 м, м/с;

r_p — радиус зеркала жидкости, м;

Sc — критерий Шмидта (Schmidt number); для многих газов и паров жидкостей $\text{Sc} \approx 0,8$ [7];

P_v — давление насыщенного пара жидкости при температуре T_{ps} ; $P_v = 9,33 \cdot 10^3$ Па [3, 15];

μ — молекулярная масса; для авиакеросина РТ $\mu = 0,1512$ кг/моль [1, 2];

R — универсальная газовая постоянная;

$R = 8,314$ Дж/(моль·К);

T_{ps} — температура жидкости; $T_{ps} = 308$ К [1, 2];

P_0 — атмосферное давление; $P_0 = 1,01 \cdot 10^5$ Па.

В условиях нашей гипотетической аварийной ситуации заложен крайний случай — отсутствие воздушного потока (ветра), поэтому вместо формул (2) и (3) использовано уравнение (4), полученное комбинацией уравнений (2.1.40) и (2.1.41), предложенных Центром химической промышленной безопасности американского института химических инженеров (Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers) [16]:

$$q_v'' = 0,0083 \frac{\mu P_v}{R T_{ps}} \left(\frac{0,018}{\mu} \right)^{1/3}. \quad (4)$$

Для рассматриваемого случая скорость испарения керосина РТ $q_v'' = 0,002249$ кг/(м²·с), а за 3600 с с площади 100 м² испарится 809,77 кг авиатоплива. Для сравнения отметим, что методики РБ Г-05-039-96 [17], РД 03-409-01 [11], СП 12.13130.2009 [18], ГОСТ Р 12.3.047-98 и ПБ 09-540-03 [12] дают следующие значения массы испарившегося керосина РТ: 961,25; 435,44; 41,40; 41,40 и 452,44 кг соответственно [1–5]. Из приведенных данных видно, что результаты расчета по формуле (4) наиболее близки к результатам, полученным формальным способом определения массы паров жидкостей, заложенным в РБ Г-05-039-96 [17].

В «желтой книге» [7] при определении скорости испарения жидкости предлагается также учитывать понижение ее температуры за счет испарения. Приведенный в данном пособии пример расчета показывает, что при испарении бензина с площади 1500 м² и скорости ветра 2 м/с его температура понижается на 15 °С (К) за 10 мин⁶. В связи с этим нами проведен опыт по определению температуры верхнего слоя керосина РТ в процессе его испарения. Контроль температуры жидкой фазы авиакеросина осуществлялся с помощью двух термпар в течение 2 ч. В ходе эксперимента эффекта понижения температуры верхнего слоя керосина РТ зафиксировано не было. Полученный результат позволяет не принимать во внимание указание ТНО об учете данного эффекта.

Для определения избыточного давления взрыва P_s (кПа) ТНО предлагает эмпирическую диаграмму Маршалла (Marshall) [7], которая хорошо описывается уравнением (5) [22, 23]:

$$P_s = \frac{1772}{z^3} - \frac{114}{z^2} + \frac{108}{z}, \quad (5)$$

где z — приведенное расстояние от эпицентра взрыва; $z = r/(Q_{\text{TNT}})^{1/3}$;

r — расстояние от эпицентра взрыва, м.

⁴ Обычно в комментариях отмечается, что это не просто масса ГВ, а масса ГВ, участвующая во взрыве. Однако просмотр зарубежных примеров расчетов по ТНТ-эквивалентному методу показывает, что зарубежными коллегами для газов и паров жидкостей не вводится дополнительный коэффициента, как это сделано в СП 12.13130.2009 и ГОСТ Р 12.3.047-98 [7, 14, 16, 19–21].

⁵ Условия расчетной аварийной ситуации приведены в работах [1, 2].

⁶ В лабораторной практике авторы встречались с подобным явлением, но оно наблюдалось только для легколетучих растворителей (диэтиловый эфир, пентан) и при большой скорости воздушного потока или при быстрой отгонке легкокипящего растворителя в вакууме.

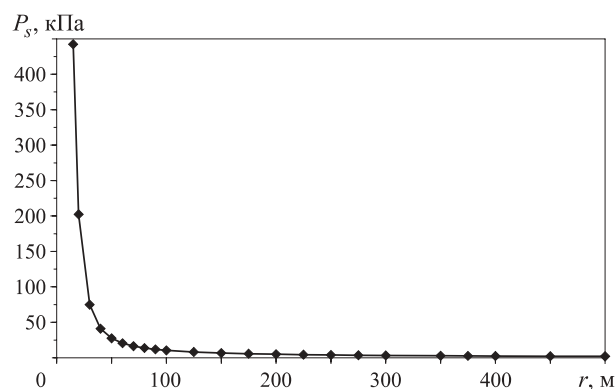


Рис. 1. Результаты расчета избыточного давления взрыва P_s по ТНТ-эквивалентному методу

Результаты расчета гипотетической аварийной ситуации представлены на рис. 1.

Мультиэнергетический метод

Как отмечается в “желтой книге” [7], экспериментальные исследования последних десятилетий показали, что дефлаграционное горение горючих газов и паров генерирует взрыв только в тех частях газо- или паровоздушного облака, которые находятся в состоянии “покоя” (полностью или частично ограничены преградами природного или искусственного характера). При этом в областях газо- или паровоздушного облака ГВ, в которых имеет место турбулентное движение, в момент воспламенения либо создаются условия для дополнительного взрыва, либо просто происходит сгорание ГВ без взрыва. Фактически в данном методе взрыв облака горючего газа или пара рассматривается как серия множества взрывов, поэтому он и называется мультиэнергетическим.

Как и в РД 03-409–01 [11], в мультиэнергетическом методе сделана попытка учесть характеристику окружающей среды и природу ГВ. В связи с этим в “желтой книге” [7] выделяется три качественных параметра, по которым аварийные ситуации разбиваются на 12 категорий или 10 классов (табл. 1):

1. Загромождение пространства (Obstruction) в области нахождения газо- и паровоздушного облака:

- а) сильное (High, в табл. 1 “++”): в области взрывоопасного облака присутствуют многочисленные препятствия, затрудняющие его свободное перемещение. При этом более 30 % суммарного объема газо- и паровоздушного облака находится на территории с препятствиями и преградами, расстояние между которыми составляет не более 3 м;
- б) низкое (Low, в табл. 1 “+”): в области взрывоопасного облака присутствуют препятствия и преграды, расстояние между которыми составляет более 3 м. Суммарный объем газо- и паровоздушного облака на территории с препятствиями и преградами не превышает 30 %;

в) отсутствует (No, в табл. 1 “–”): во взрывоопасном облаке нет преград и препятствий для его свободной диффузии.

2. Параллельное ограничение (Parallel plane confinement):

- а) есть (в табл. 1 “+”): газо- и паровоздушное облако ограничено стенами или барьерами с двух или трех сторон;
- б) нет (в табл. 1 “–”): ограничения для взрывоопасного облака, за исключением поверхности земли (пола), отсутствуют.

3. Условия воспламенения (Ignition strength):

- а) благоприятные (в табл. 1 “+”): любой источник зажигания в условиях ограниченного вентилирования;
- б) неблагоприятные (в табл. 1 “–”): открытый источник зажигания (искра, открытое пламя, нагретая поверхность и т. п.).

На первом этапе мультиэнергетический метод предполагает нахождение объема взрывоопасной концентрации V_c при стехиометрической концентрации C_s с помощью уравнения [7]:

$$V_c = 100Q_f / (\rho C_s), \quad (6)$$

где ρ — плотность паров керосина при 308 К;

$$C_s = 1,30 \% [1, 2].$$

Объем взрывоопасной концентрации V_c по (6) составляет 10444,94 м³.

Неизвестная плотность паров авиакеросина при температуре 308 К определена по формуле [24]:

$$\rho = P_0 \mu / (RT). \quad (7)$$

Отметим, что результат расчета (5,964 кг/м³) по уравнению (7) незначительно отличается от значения (5,978 кг/м³), полученного по уравнению (А.2) из СП 12.13130.2009 [18].

Таблица 1. Классификация взрывоопасных ситуаций по ТНО [7]

Категория	Загромождение пространства	Параллельное ограничение	Условия воспламенения	Класс
1	++	+	+	7–10
2	++	–	+	7–10
3	++	+	–	5–7
4	+	+	+	5–7
5	+	–	+	4–6
6	–	+	+	4–6
7	++	–	–	4–5
8	–	–	+	4–5
9	+	+	–	3–5
10	+	–	–	2–3
11	–	+	–	1–2
12	–	–	–	1

В мультиэнергетическом подходе принимается, что форма паровоздушного облака представляет собой полусферу. Для нашей задачи радиус этой полусферы составит 17,09 м. По условиям гипотетической аварийной ситуации [1, 2] взрыв паровоздушной смеси авиакеросина в зависимости от загромождения окружающего пространства и глубины колодца может попасть в любую категорию.

Для определения избыточного давления взрыва TNO предлагает эмпирическую диаграмму в координатах от приведенного избыточного давления взрыва P'_s ($P'_s = P_s/P_0$) и приведенного по энергии расстояния z' ($z' = r/(E_{mf} Q_f/P_0)^{1/3}$). Результаты прогноза избыточного давления взрыва для нашей гипотетической аварийной ситуации представлены на рис. 2 и 3, из которых видно, что мультиэнергетический подход плохо согласуется с ТНТ-эквивалентным методом и дает завышенные результаты. В качестве достоинства мультиэнергетического метода можно отметить его возможность учитывать эффект “домино”.

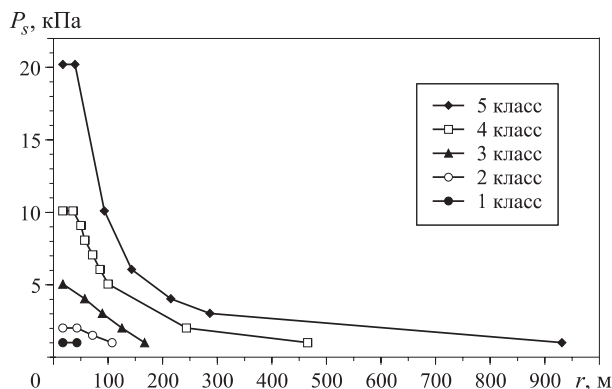


Рис. 2. Результаты расчета избыточного давления взрыва P_s по мультиэнергетическому методу для 1–5-го классов взрывов газопаровоздушных смесей

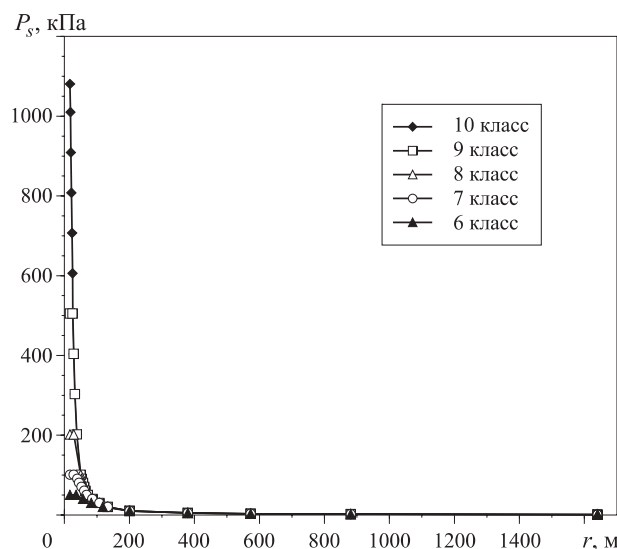


Рис. 3. Результаты расчета избыточного давления взрыва P_s по мультиэнергетическому методу для 6–10-го классов взрывов газопаровоздушных смесей

В табл. 2 приведен сравнительный прогноз возможных радиусов зон разрушений по методам TNO и отечественным методикам для расчетной аварийной ситуации, связанной с разлитием керосина РТ [1, 2]. Ранее [25]⁷ на примере взрыва пропана отмечалось хорошее согласование TNO и мультиэнергетического методов с подходом, заложенным в РД 03-409-01 [11]. Для нашего случая такого согласования методик не наблюдается. В то же время можно отметить хорошую сопоставимость прогноза мультиэнергетического метода для 8–10-го классов взрывов с результатами расчета по РБ Г-05-039-96 [17], которая обусловлена одинаковыми исходными данными (стехиометрическая концентрация, полусферическая форма паровоздушного облака).

В заключение отметим, что в связи вступлением нашей страны в ВТО изучение и внедрение зарубежных методик, которые широко применяются за пределами СНГ, представляет не только научный, но и практический интерес. Кроме того, TNO-методики “желтой книги” относительно просты и могут быть взяты на вооружение широким кругом специалистов.

⁷ В работе [25] не указан класс взрыва, отмечено только, что использована модель взрыва RIPRAP в системе ARAMAS.

Таблица 2. Сравнительный анализ прогнозов зон разрушения по различным методикам

Класс зоны разрушения по ПБ 09-540-03 [12]	P_s , кПа	R, м					
		ПБ 09-540-03 [12]	РБ Г-05-039-96 [17]	РД 03-409-01 [11]	СП 12.13130.2009 [18], ГОСТ Р 12.3.047-98	ТНТ-эквивалентный метод	Мультиэнергетический метод
1	≥ 100	8	51 ¹	37 ³ 37 ⁷	9	27	50 ⁸⁻¹⁰ 29 ¹¹
2	70	12	63 ¹	50 ³ 55 ⁷	11	31	61 ⁸⁻¹⁰ 52 ¹¹
3	28	21	109 ¹ 95 ²	183 ³ 73 ⁴ 94 ⁷	18	49	113 ⁸⁻¹¹ 90 ¹²
4	14	61	173 ¹ 205 ²	379 ³ 161 ⁴ 45 ⁵ 273 ⁷	29	79	169 ⁸⁻¹² 72 ¹³
5	≤ 2	121	882 ¹ 1265 ²	2734 ³ 1236 ⁴ 425 ⁵ 143 ⁶ 546 ⁷	151	494	881 ⁸⁻¹² 415 ¹³ 244 ¹⁴ 125 ¹⁵ 43 ¹⁶

¹ Для режима детонации. ² Для режима дефлаграции. ³ При скорости фронта пламени $v = 200 \div 300$ м/с. ⁴ То же, $v = 150 \div 200$ м/с. ⁵ То же, $v = 118$ м/с. ⁶ То же, $v = 72$ м/с. ⁷ По ТНТ-эквиваленту. ⁸ Для взрыва 10-го класса. ⁹ Для взрыва 9-го класса. ¹⁰ Для взрыва 8-го класса. ¹¹ Для взрыва 7-го класса. ¹² Для взрыва 6-го класса. ¹³ Для взрыва 5-го класса. ¹⁴ Для взрыва 4-го класса. ¹⁵ Для взрыва 3-го класса. ¹⁶ Для взрыва 2-го класса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев С. Г., Авдеев А. С., Барбин Н. М., Тимашев С. А., Гурьев Е. С. Методы оценки взрывопожароопасности топливоздушных смесей на примере керосина марки РТ. I. РБ Г-05-039-96 // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 5. — С. 37–47.
2. Алексеев С. Г., Авдеев А. С., Барбин Н. М., Тимашев С. А., Гурьев Е. С. Методы оценки взрывопожароопасности топливоздушных смесей на примере керосина марки РТ. II. РД 03-409-01 // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 1. — С. 21–27.
3. Алексеев С. Г., Авдеев А. С., Барбин Н. М., Тимашев С. А., Гурьев Е. С. Методы оценки взрывопожароопасности топливоздушных смесей на примере керосина марки РТ. III. СП 12.13130.2009 // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 1. — С. 33–38.
4. Алексеев С. Г., Авдеев А. С., Барбин Н. М., Тимашев С. А., Гурьев Е. С. Методы оценки взрывопожароопасности топливоздушных смесей на примере керосина марки РТ. IV. ГОСТ Р 12.3.047-98 // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 6. — С. 34–37.
5. Алексеев С. Г., Авдеев А. С., Барбин Н. М., Тимашев С. А., Гурьев Е. С. Методы оценки взрывопожароопасности топливоздушных смесей на примере керосина марки РТ. V. ПБ 09-540-03 // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 8. — С. 32–35.
6. Schüller J. C. H., Brinkman J. L., van Gestel P. J., van Otterloo R. W. CPR 12E. Methods for determination and processing probabilities. “Red book”. — Hague : Gevaarlijke Stoffen, 1997. — 604 p.
7. CPR 14E. Methods for the calculation of physical effects. “Yellow book” / By ed. C. J. H. van den Bosch, R. A. P. M. Weterings. — Hague : Gevaarlijke Stoffen, 2005. — 870 p.
8. CPR 16E. Methods for the determination of possible damage. “Green book”. — Hague : Directorate-General of Labour of the Ministry of Social Affairs and Employment, 1992. — 337 p.
9. Uijt de Haag P. A. M., Ale B. J. M. CPR 18E. Guideline for risk assessment. “Purple book”. — Hague : Gevaarlijke Stoffen, 2005. — 237 p.
10. Таубкин И. С., Фролов А. В. О методиках расчета параметров взрыва облаков газо-паровоздушных смесей // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. — 2006. — № 2. — С. 35–45.
11. РД 03-409-01. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей : постановление Госгортехнадзора РФ от 26.06.2001 г. № 25. URL : <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=EXP;n=334178> (дата обращения: 10.01.2013 г.).
12. ПБ 09-540-03. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств : постановление Госгортехнадзора РФ от 05.05.2003 г. № 29; введ. 05.05.2003 г. // Российская газета. — 2003. — № 120/1.
13. CCPS. Guidelines for use of vapor cloud dispersion models. — N. Y. : AIChE, 1996. — P. 43–45.
14. Casal J. Evaluation of the effects and consequences of major accidents in industrial plants. — Amsterdam : Elsevier, 2008. — P. 54–55.
15. Варгафтик Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. — М. : Наука, 1972. — 691 с.
16. CCPS. Guidelines for chemical process quantitative risk analysis. — N. Y. : AIChE, 2000. — P. 101, 106–107.
17. РБ Г-5-05-039-96. Руководство по анализу опасности аварийных взрывов и определению параметров их механического воздействия. — М. : НТЦ ЯРБ Госатомнадзора России, 2000. — 40 с.
18. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности (в ред. изм. № 1, утв. приказом МЧС России от 09.12.2010 г. № 643). Доступ из справ.-правовой системы “КонсультантПлюс”. URL : <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=109932> (дата обращения: 10.01.2013 г.).
19. CCPS. Guidelines for evaluating the characteristics of vapor cloud explosions, flash fires, and bleves. — N. Y. : AIChE, 1994. — P. 112–120.
20. Woodward J. L. CCPS. Estimating the flammable mass of a vapor cloud. — N. Y. : AIChE, 1998. — P. 109–113.
21. Assael M. J., Kakosimos K. E. Fire, explosions, and toxic gas dispersion. Effects calculation and risk analysis. — London : CRC Press, 2010. — P. 153–158.
22. Moon N. N. Prediction of blast loading and its impact on buildings. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for degree of master of technology in civil engineering. — National Institute of Technology (India), 2009. — P. 9.
23. Zhou F. Blast/explosion resistant analysis of composite steel girder bridge system. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for degree of master of science. — Florida Atlantic University, 2009. — P. 8.
24. Reinhard M., Drefahl A. Handbook for estimating physicochemical properties of organic compounds. — N. Y. : J. Wiley & Sons, 1999. — P. 39.

25. Ефремов К. В., Лисанов М. В., Софьин А. С., Самусева Е. А., Сумской С. И., Кириенко А. П. Расчет зон разрушения зданий и сооружений при взрывах топливно-воздушных смесей на опасных производственных объектах // Безопасность труда в промышленности. — 2011. — № 9. — С. 70–77.

Материал поступил в редакцию 14 января 2013 г.

English

ANALYSIS METHODS OF EXPLOSION FIRE HAZARD OF MIXTURES OF FUEL AND AIR ON AN EXAMPLE FOR JET FUEL RT. VI. TNO METHODS (Part 1)

ALEXEEV S. G., Candidate of Chemistry Sciences, Associate Professor, Corresponding Member of WASCs, Senior Researcher of Science and Engineering Centre "Reliability and Safety of Large Systems" of Ural Branch of Russian Academy of Sciences (Studencheskaya St., 54a, Yekaterinburg, 620049, Russian Federation), Senior Researcher of Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; e-mail address: Alexshome@mail.ru)

AVDEEV A. S., Leader of Sector of Forensic Expert Establishment of Federal Fire Service "Testing Fire Laboratory for the Perm Territory" (St. Bolshevistskaya, 53a, Perm, 614990, Russian Federation; e-mail address: asipl@ugps.perm.ru)

BARBIN N. M., Doctor of Technical Sciences, Candidate of Chemistry Sciences, Head of Chemistry Department of Urals State Agricultural Academy (Karla Libknekhta St., 42, Yekaterinburg, 620075, Russian Federation), Senior Researcher of Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; e-mail address: NMBarbin@mail.ru)

TIMASHEV S. A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Science and Engineering Centre "Reliability and Safety of Large Systems" of Ural Branch of Russian Academy of Sciences (Studencheskaya St., 54a, Yekaterinburg, 620049, Russian Federation; e-mail address: TimashevS@wekt.ru)

GURYEV E. S., Candidate of Technical Sciences, Docent, Deputy Director of Science and Engineering Centre "Reliability and Safety of Large Systems" of Ural Branch of Russian Academy of Sciences (Studencheskaya St., 54a, Yekaterinburg, 620049, Russian Federation; e-mail address: sec@wekt.ru)

ABSTRACT

Study of an emergency situation related with flood of the jet fuel RT is continued in this work by the TNT-equivalency and multi-energy methods from TNO (the yellow book). The evaporation rate (q_v'') of aviakerosene is defined by the next formula: $q_v'' = 0,0083 \mu P_v / (R T_{ps}) (0,018/\mu)^{1/3}$. Where μ — molecular weight, $\mu = 0,1512$ kg/mole; R — the gas constant; T_{ps} — fluid temperature, $T_{ps} = 308$ K; P_v — saturation pressure at T_{ps} , $P_v = 9,33 \cdot 10^3$ Pa; P_0 — atmospheric pressure. Results of the TNT-equivalency forecast of possible zones of destructions is given in the table. For the investigating emergency situation calculation is executed for the all possible 10th classes of VCE by the multi-energy approach. The calculation data is presented in the table. The forecast on the russian procedures also is given too. Good comparability of the forecast of a multi-energy method (8–10th classes of VCE) with results of calculation on RB G-05-039–96 is shown.

Keywords: explosion; kerosene; fuel-air mixture; blast pressure.

P_s , kPa	Radius zones of destructions, m					
	PB 09-540–03	RB G-05-039–96	RD 03-409–01	SP 12.13130.2009; GOST R 12.3.047–98	TNT-equivalency method	Multi-energy method
≥ 100	8	51	37	9	27	50; 29
70	12	63	50, 55	11	31	61; 52
28	21	109; 95	183; 73; 94	18	49	113; 90
14	61	173; 205	379; 161; 45; 273	29	79	169; 72
≤ 2	121	882; 1265	2734; 1236; 425; 143; 546	151	494	881; 415; 244; 125; 43

REFERENCES

1. Alexeev S. G., Avdeev A. S., Barbin N. M., Timashev S. A., Guryev Ye. S. Metody otsenki vzryvopozharoopasnosti toplivovozdushnykh smesey na primere kerosina marki RT. I. RB G-05-039–96 [Analysis methods of explosion fire hazard of fuel and air mixtures on an example for jetfuel RT. I. RB G-05-039–96]. *Pozharovryvobezopasnost — Fire & Explosion Safety*, 2010, vol. 19, no. 5, pp. 37–47. Available at: <http://fire-smi.ru/arhivpvb2010> (Accessed 10 January 2013).
2. Alexeev S. G., Avdeev A. S., Barbin N. M., Timashev S. A., Guryev Ye. S. Metody otsenki vzryvopozharoopasnosti toplivovozdushnykh smesey na primere kerosina marki RT. II. RD 03-409–01 [Analysis methods of explosion fire hazard of fuel and air mixtures on an example for jetfuel RT. II. RD 03-409–01]. *Pozharovryvobezopasnost — Fire & Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 1, pp. 21–27. Available at: <http://fire-smi.ru/arhivpvb2011> (Accessed 10 January 2013).
3. Alexeev S. G., Avdeev A. S., Barbin N. M., Timashev S. A., Guryev Ye. S. Metody otsenki vzryvopozharoopasnosti toplivovozdushnykh smesey na primere kerosina marki RT. III. SP 12.13130.2009 [Analysis methods of explosion fire hazard of fuel and air mixtures on an example for jetfuel RT. III. SP 12.13130.2009]. *Pozharovryvobezopasnost — Fire & Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 1, pp. 33–38. Available at: <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1008238> (Accessed 10 January 2013).
4. Alexeev S. G., Avdeev A. S., Barbin N. M., Timashev S. A., Guryev Ye. S. Metody otsenki vzryvopozharoopasnosti toplivovozdushnykh smesey na primere kerosina marki RT. IV. GOST R 12.3.047–98 [Analysis methods of explosion fire hazard of fuel and air mixtures on an example for jetfuel RT. IV. GOST R 12.3.047–98]. *Pozharovryvobezopasnost — Fire & Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 6, pp. 34–37. Available at: <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1025513> (Accessed 10 January 2013).
5. Alexeev S. G., Avdeev A. S., Barbin N. M., Timashev S. A., Guryev Ye. S. Metody otsenki vzryvopozharoopasnosti toplivovozdushnykh smesey na primere kerosina marki RT. V. PB 09-540–03 [Analysis methods of explosion fire hazard of fuel and air mixtures on an example for jetfuel RT. V. PB 09-540–03]. *Pozharovryvobezopasnost — Fire & Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 8, pp. 32–35. Available at: <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1031479> (Accessed 10 January 2013).
6. Schüller J. C. H., Brinkman J. L., van Gestel P. J., van Otterloo R. W. *CPR 12E. Methods for determination and processing probabilities. "Red book"*. Hague, Gevaarlijke Stoffen, 1997. 604 p.
7. Van den Bosch C. J. H., Weterings R. A. P. M. (eds.). *CPR 14E. Methods for the calculation of physical effects. "Yellow book"*. Hague, Gevaarlijke Stoffen, 2005. 870 p.
8. *CPR 16E. Methods for the determination of possible damage. "Green book"*. — Hague, Directorate-General of Labour of the Ministry of Social Affairs and Employment, 1992. 337 p.
9. Uijt de Haag P. A. M., Ale B. J. M. *CPR 18E. Guideline for risk assessment. "Purple book"*. Hague, Gevaarlijke Stoffen, 2005. 237 p.
10. Taubkin I. S., Frolov A. V. O metodikakh rascheta parametrov vzryva oblakov gazo-parovozdushnykh smesey [About methods of calculation of explosion indices for VCEs]. *Problemy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy — Problems of Safety and Emergency Situations*, 2006, no 2, pp. 35–45.
11. *Management Document 03-409–01. The prediction method for analysis of VCE damages*. Available at: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=EXP;n=334178> (Accessed 10 January 2013) (in Russian).
12. PB 09-540–03. Common explosion safety rules for fire, explosive, hazard, chemical, petrochemical and oil refining factories. *Rossiyskaya gazeta — Russian Newspaper*, 2003, no. 120/1.
13. CCPS. *Guidelines for use of vapor cloud dispersion models*. N. Y., AIChE, 1996. pp. 43–45.
14. Casal J. *Evaluation of the effects and consequences of major accidents in industrial plants*. Amsterdam, Elsevier, 2008. pp. 54–55.
15. Vargaftik N. B. *Spravochnik po teplofizicheskim svoystvam gazov i zhidkostey* [Handbook of thermophysical properties of gases and liquids]. Moscow, Nauka Publ., 1972. 691 p.
16. CCPS. *Guidelines for chemical process quantitative risk analysis*. N. Y., AIChE, 2000, pp. 101, 106–107.
17. *Guides to safety G-05-039–96. Manual for analysis of accident explosion hazards and determination of their mechanical action*. Moscow, NTTs YaRB Gosatomnadzor Rossii Publ., 2000. 40 p. (in Russian).
18. *Set of rules 12.13130.2009. Determination of categories of rooms, buildings and external installations on explosion and fire hazard*. Available at: <http://www.consultant.ru/search/?q=%D1%CF!+12%2013130.2009> (Accessed 10 January 2013) (in Russian).
19. CCPS. *Guidelines for evaluating the characteristics of vapor cloud explosions, flash fires, and bleves*. N. Y., AIChE, 1994, pp. 112–120.
20. Woodward J. L. *CCPS. Estimating the flammable mass of a vapor cloud*. N. Y., AIChE, 1998, pp. 109–113.

21. Assael M. J., Kakosimos K. E. *Fire, explosions, and toxic gas dispersion. Effects calculation and risk analysis*. London, CRC Press, 2010, pp. 153–158.
22. Moon N. N. *Prediction of blast loading and its impact on buildings*. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for degree of master of technology in civil engineering. National Institute of Technology (India), 2009, p. 9.
23. Zhou F. *Blast/explosion resistant analysis of composite steel girder bridge system*. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for degree of master of science. Florida Atlantic University, 2009, p. 8.
24. Reinhard M., Drefahl A. *Handbook for estimating physicochemical properties of organic compounds*. N. Y., J. Wiley & Sons, 1999, p. 39.
25. Efremov K. V., Lisanov M. V., Sofyin A. S., Samuseva Ye. A., Sumskey S. I., Kirienko A. P. Raschet zon razrusheniya zdaniy i sooruzheniy pri vzryvakh toplivovozdushnykh smesey na opasnykh proizvodstvennykh ob'yektakh [Calculation of Buildings and Structures Destruction Zones Resulted from Explosions of Fuel-Air Mixtures at Hazardous Production Facilities]. *Bezopasnost truda v promyshlennosti — Industrial safety labour*, 2011, no 9. pp. 70–77.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Предлагает вашему вниманию

Л. П. Пилюгин

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ ВНУТРЕННИХ АВАРИЙНЫХ ВЗРЫВОВ



Настоящая книга посвящена проблеме прогнозирования последствий внутренних взрывов газо-, паро- и пылевоздушных горючих смесей (ГС), образующихся при аварийных ситуациях на взрывоопасных производствах. В книге материал излагается применительно к дефлаграционным взрывам, которые обычно имеют место при горении ГС на этих производствах.

В качестве основных показателей при прогнозировании последствий аварийных взрывов ГС рассматриваются ожидаемый характер и объем разрушений строительных конструкций в здании (сооружении), в котором происходит аварийный взрыв.

Книга продолжает исследования автора в области проектирования зданий взрывоопасных производств и оценки надежности строительных конструкций (на основе метода преобразования рядов распределения случайных величин).

С использованием методов теории вероятностей разработаны методики: определения характеристик взрывной нагрузки как случайной величины; оценки вероятностей разрушения конструкций, характера и объема разрушений в здании при внутреннем аварийном взрыве. Приведенные методики сопровождаются примерами расчетов для зданий различных объемно-планировочных решений.

121352, г. Москва, а/я 43;
тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: mail@firepress.ru

С. Л. БАРБОТЬКО, канд. техн. наук, начальник лаборатории "Исследование неметаллических материалов на климатическую, микробиологическую стойкость и пожаробезопасность", ФГУП "Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов" ГНЦ РФ (Россия, 105005, г. Москва, ул. Радио, 17; e-mail: slbarbotko@yandex.ru)

Н. И. ШВЕЦ, канд. техн. наук, начальник сектора лаборатории "Полимерные связующие для неметаллических материалов и специальные жидкости", ФГУП "Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов" ГНЦ РФ (Россия, 105005, г. Москва, ул. Радио, 17; e-mail: shvecni@viam.ru)

О. Б. ЗАСТРОГИНА, канд. техн. наук, заместитель начальника лаборатории "Полимерные связующие для неметаллических материалов и специальные жидкости", ФГУП "Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов" ГНЦ РФ (Россия, 105005, г. Москва, ул. Радио, 17; e-mail: zastroginaob@viam.ru)

Т. Ф. ИЗOTOVA, ведущий инженер лаборатории "Декоративные, акустические, технические текстильные и термопластичные конструкционные материалы", ФГУП "Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов" ГНЦ РФ (Россия, 105005, г. Москва, ул. Радио, 17)

УДК 614.841.41:629.7.042.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТОЛЩИНЫ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЯ ПРИ ГОРЕНИИ

Проведено исследование влияния толщины образцов стеклопластиков на характеристики выделения тепла при горении. Показано, что эти зависимости имеют экстремальный характер с максимумом при толщине стеклопластика 1...3 мм. Для аналитического описания зависимости характеристик тепловыделения от толщины предложено аналитическое уравнение. Рассчитаны коэффициенты уравнений для трех типов полимерной матрицы – полисульфона, поликарбоната, фенольного связующего. Показано, что предложенное аналитическое уравнение позволяет описать экспериментальные результаты по максимальной интенсивности выделения тепла и общему количеству тепла, выделившегося в течение первых 1 или 2 мин, с удовлетворительной точностью.

Ключевые слова: пожарная безопасность; тепловыделение; стеклопластик.

В авиационной технике для отделки пассажирских кабин широко применяются трехслойные сотовые панели, микросферотекстолиты и стеклопластики. Трехслойные панели используют для изготовления перегородок толщиной более 5 мм. Для изготовления более тонких элементов конструкций применяют стеклопластики (0,3...5 мм) и микросферотекстолиты (1,5...6 мм).

Все неметаллические материалы, предназначенные для применения в интерьере пассажирских самолетов, должны соответствовать предъявляемым к ним требованиям по пожарной безопасности. Одними из наиболее важных составляющих пожарной безопасности, наряду с показателями горючести и дымообразующей способности, являются критерии, ограничивающие максимально допустимые значения тепловыделения при горении. Поэтому изучение изменения характеристик тепловыделения является одной из актуальных задач, которая позволяет решить проблему выбора и создания материалов, наиболее безопасных с точки зрения авиационных норм [1].

Ранее [2] было показано, что с увеличением толщины от 0,2 до 1 мм для большинства монолитных полимерных материалов, таких как стекло-, угле- или органопластики, нормируемые показатели тепловыделения (максимальная скорость тепловыделения и общее количество выделившегося тепла в течение первых 2 мин) монотонно возрастают, а при дальнейшем увеличении толщины материалов происходит снижение скорости прироста показателей и их стабилизация (выход на постоянное плато). Впоследствии было обнаружено, что максимальная скорость выделения тепла и общее количество выделившегося тепла в течение первых 2 мин испытания, определенные для образцов некоторых материалов толщиной свыше 4 мм, были ниже, чем для образцов толщиной 1...2 мм [3]. Так как эти данные не вписывались в привычную картину изменения характеристик материалов, то было решено провести дополнительные исследования влияния толщины стеклопластиков, имеющих различную химическую природу, на регистрируемые показатели тепловыделения.

В предлагаемой работе приведены результаты исследования влияния толщины для трех видов стеклопластиков на тепловыделение при горении. В процессе эксперимента определяли следующие параметры: максимальную интенсивность выделения тепла и время наступления максимума, общее количество выделившегося тепла за различные интервалы времени (1, 2, 3, 4 и 5 мин), продолжительность периода индукции до начала положительного тепловыделения.

В качестве объектов исследования были выбраны стеклопластики с различной химической природой полимерной матрицы:

- термопластичная матрица с умеренной коксообразующей способностью — полисульфон;
- термопластичная матрица с низкой коксообразующей способностью и с использованием галогенсодержащих антипиренов — огнезащитенный поликарбонат;
- термореактивная полимерная матрица с высокой коксообразующей способностью — фенолформальдегидное связующее, не содержащее антипиренов.

Так как тип используемого наполнителя (толщина, поверхностная масса, вид волокна) и содержание связующего могут оказывать влияние на характеристики тепловыделения при горении [4],

сравнительные испытания необходимо проводить на одинаковых по структуре материалах. Наиболее распространенным типом стеклоткани при изготовлении панелей перегородок и интерьера в авиационной технике является стеклоткань на основе полых стекловолокон, обеспечивающая более выгодные весовые характеристики. Поэтому при изготовлении образцов в данной работе в качестве наполнителя была использована полая стеклоткань марки Т-15(П)–76 (по ТУ 6-48-107–94). Обычно содержание полимерной матрицы в конструкционных стеклопластиках составляет 30...40 %. Поскольку в данном случае использовали стеклоткань на основе полых стекловолокон, то образцы были изготовлены с содержанием полимерной матрицы около 40 %.

Испытания по оценке тепловыделения проводили в соответствии с требованиями, подробно изложенными в Части IV Приложения F Авиационных норм АП-25 [5] и FAR-25. Для испытаний материалов использовали проточный калориметр типа OSU (ASTM E906). В соответствии с этими требованиями образцы подвергали воздействию теплового потока мощностью 35 кВт/м² в течение 5 мин (ограничение на продолжительность испытаний связано с нормативом по выполнению эвакуации из потерпевшего аварию воздушного судна). Нормируемыми показателями являются максимальная интенсивность

Таблица 1. Характеристики тепловыделения образцов стеклопластиков

Толщина, мм	Содержание стеклоткани/связующего, %	Масса исходная средняя, г/м ²	Период индукции, с	Время максимума, с	Максимальная скорость тепловыделения, кВт/м ²	Общее количество тепла, кВт·мин/м ² *, выделившегося в течение первых				
						1 мин	2 мин	3 мин	4 мин	5 мин
Стеклопластик на поликарбонате										
0,33	60/40	540	20	60	38,4±3,8	12,6±2,7	26,1±2,7	34,1±4,6	42,4±7,5	50,6±11,9
0,98	60/40	1620	34	138	49,9±4,7	6,7±3,0	46,4±5,3	86,9±6,6	106,6±6,2	123,7±6,8
1,90	63/37	3070	45	163	45,3±7,5	−0,9±2,1	32,2±4,7	69,9±12,2	108,1±21,5	142,4±25,9
4,30	59/41	7150	85	288	42,4±3,3	−6,6±1,2	1,4±2,3	33,4±5,0	68,6±7,4	107,6±11,8
Стеклопластик на полисульфоне										
0,28	66/34	490	8	34	30,5±1,1	15,2±1,2	24,9±0,2	33,6±0,7	41,2±3,5	48,7±8,3
1,00	60/40	1610	20	118	51,2±4,3	12,7±2,0	54,0±3,6	90,2±1,3	110,1±0,6	125,1±1,9
1,45	61/39	2380	24	185	51,3±1,8	13,2±2,3	48,4±6,4	94,2±6,8	135,4±8,2	159,7±10,5
1,90	62/38	3100	34	220	56,3±8,2	8,4±2,5	47,1±7,0	94,1±16,7	146,8±25,0	186,8±23,0
3,10	62/38	4930	45	264	54,8±8,3	1,6±2,1	38,1±5,6	80,6±11,1	129,1±15,5	181,2±22,7
4,50	61/39	7350	58	294	48,8±5,6	−4,3±0,7	19,8±2,4	56,5±3,6	97,8±6,2	143,0±11,5
Стеклопластик на фенольном связующем										
0,32	62/38	520	10	31	15,9±6,5	4,1±3,4	8,5±5,2	16,3±6,2	25,7±7,5	36,3±9,8
0,94	63/37	1530	30	77	41,1±18,1	1,4±0,9	28,6±8,6	44,3±10,0	60,7±11,2	76,2±14,8
2,23	60/40	3500	90	217	53,7±2,8	−4,3±2,9	−1,6±7,2	29,7±5,7	78,4±6,9	114,7±12,7
4,88	62/38	7780	170	298	24,4±3,1	−6,0±0,5	−9,2±0,1	−7,2±0,3	−4,4±1,8	8,6±4,0

* 1 кВт·мин/м² = 0,06 МДж/м².

* 1 кВт·мин/м² = 0,06 МДж/м².

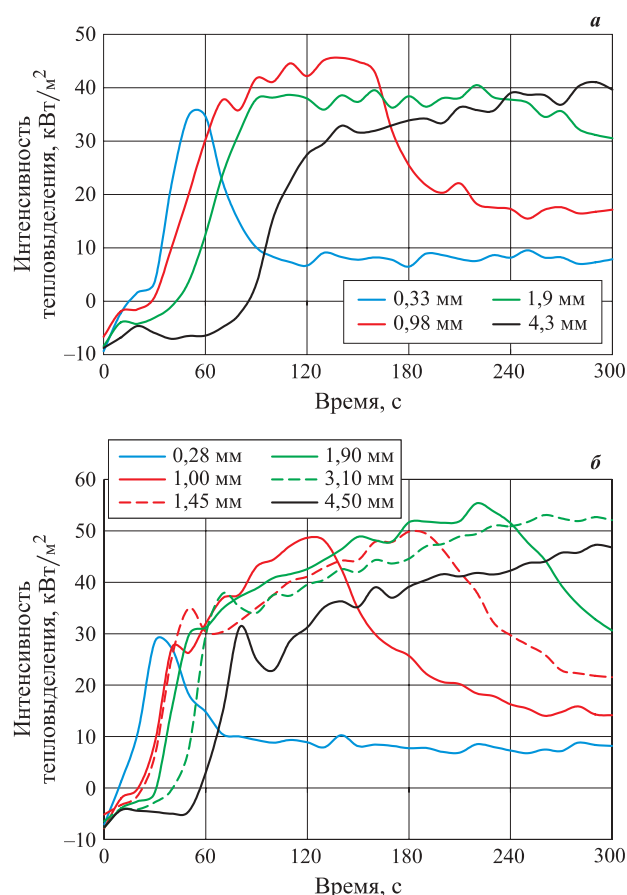


Рис. 1. Кинетика интенсивности выделения тепла при горении образцов стеклопластиков различной толщины (средние значения из трех параллельных испытаний) на основе полимерной матрицы из полисульфона (а) и поликарбоната (б)

тепловыделения (пик) и общее количество тепла, выделившегося в течение первых 2 мин испытания. Все испытания по определению характеристик тепловыделения при горении были проведены в ФГУП ВИАМ, для испытаний использовали проточный калориметр марки HRR-3 (изготовитель Atlas Electric Devices, США).

Для каждого типа (толщины) образца проводили по три параллельных испытания. Средние значения характеристик образцов и результаты испытаний представлены в табл. 1. На рис. 1 приведены графики изменения интенсивности тепловыделения для образцов различной толщины. Для всех испытанных материалов у образцов, имеющих толщину более 2 мм,

зарегистрировано снижение регламентируемых характеристик тепловыделения (максимальной интенсивности выделения тепла и общего количества тепла, выделившегося в течение первых 2 мин).

Из табл. 2 видно, что с ростом толщины от 0,33 до 4,3 мм доля массы оставшегося после испытания образца возрастает с 74 до 94 %, а доля оставшейся полимерной составляющей (вместе с коксом) — с 35 % (образец толщиной 0,33 мм) до 86 % (образец толщиной 4,3 мм). При визуальном осмотре поперечных срезов испытанных образцов выявлено, что с увеличением толщины образца возрастает доля полимера, не успевшего подвергнуться термодеструкции за время проведения испытания. Так, у испытанных образцов толщиной до 2 мм практически не наблюдается необуглившейся полимерной составляющей, в то время как образец толщиной 4,3 мм почти на половину толщины имеет неструктурированную полимерную составляющую (при визуальном контроле не отмечено изменения исходного цвета полимерной матрицы).

Повышение доли несгоревшей полимерной составляющей в процессе испытаний может быть объяснено следующими факторами. С увеличением количества слоев стеклоткани возрастает сопротивление выходу образующихся газообразных продуктов на поверхность и затрудняется диффузия газообразного кислорода внутрь образца, вследствие чего повышается коксовое число полимера. Кроме того, увеличение количества слоев стеклоткани по мере выгорания полимера приводит к уменьшению проникающего внутрь теплового потока, вызывающего термодеструкцию полимера. Увеличение толщины образца также приводит к росту затрат тепла на прогрев материала, а поскольку продолжительность эксперимента ограничена 5 мин, то нижележащие слои более толстого образца не успевают прогреться и подвергнуться термодеструкции. Вследствие этого время наступления максимума интенсивности тепловыделения с ростом толщины сдвигается на более поздний срок, т. е. реальный максимум интенсивности тепловыделения за назначенное время эксперимента может быть не достигнут при выполнении стандартных по продолжительности испытаний. В совокупности эти причины и приводят к сни-

Таблица 2. Характеристики образцов стеклопластика на поликарбонате до и после испытаний по оценке тепловыделения при горении

Толщина образца, мм	Содержание связующего в исходном образце, %	Масса образца до испытания, г/м ²	Потеря массы, г/м ²	Несгоревший остаток образца, %	Остаток полимерной составляющей в образце после испытания (от исходного), %
0,33	40,0	540	140	74	35
0,98	40,0	1620	350	78	46
1,90	36,7	3070	550	82	51
4,30	41,1	7150	400	94	86

жению максимальной интенсивности выделения тепла при испытаниях образцов толщиной свыше 2...3 мм.

Наличие экстремума для общего количества тепла, выделившегося за определенный промежуток времени, вызвано тем, что с увеличением толщины за счет повышения массы образца возрастает количество поглощаемого образцом тепла на начальном этапе испытания, вследствие чего материал позже воспламеняется и начало положительного тепловыделения сдвигается на более позднее время. Поэтому на определенном этапе с увеличением толщины образца количество тепла, выделившегося за заданный промежуток времени, начинает снижаться.

В результате исследования установлено, что с увеличением толщины происходит изменение всех регистрируемых показателей тепловыделения: как максимальная интенсивность выделения тепла, так и общее количество выделившегося тепла изменяются неаддитивно с увеличением толщины материала. Для исследованных материалов у зависимостей изменения характеристик тепловыделения от толщины зарегистрировано появление экстремума, и при увеличении толщины образцов стеклопластиков свыше 2...3 мм происходит снижение нормируемых показателей тепловыделения (максимальной интенсивности и общего количества тепла, выделившегося в течение первых 2 мин).

Для оценки влияния различных факторов на показатели тепловыделения представляет интерес получение функций изменения характеристик тепловыделения от толщины в аналитическом виде. В работе [6] приведены расчеты, позволяющие математически описать кинетику выделения тепла с учетом изменения толщины образца, однако предложенные формулы не давали возможность получить непосредственную зависимость изменения нормируемых характеристик тепловыделения от толщины.

Для описания изменения характеристик с математической точки зрения может быть применен полином — разложение практически любой непрерывной на заданном интервале функции в ряд Фурье или Тейлора. Для корректного (достаточно точного) описания с погрешностью до 10 %, как правило, достаточно 3–5 членов ряда. Однако использование полинома скрывает истинный смысл описываемых физических процессов, поэтому предпочтительнее использовать другие виды функций.

Исходя из физического смысла, характеристики тепловыделения (максимальная интенсивность, общее количество тепла, выделившегося за определенный промежуток времени) в зависимости от толщины (массы) материала могут быть описаны совокупностью элементарных функций: произведением линейной функции (пропорциональное увеличение

количества горючей составляющей на единицу площади образца с увеличением толщины) на ниспадающую ветвь экспоненты (изменение доли тепла, выделившегося с единицы площади поверхности образца, по отношению к затратам на прогрев объема материала). По мере увеличения толщины образца должна происходить стабилизация регистрируемой характеристики на одном уровне — достижение условия термически толстого образца (для выбранных условий может быть принято, что в процессе испытания происходит горение полубесконечного по толщине образца, т. е. за заданный интервал времени не происходит изменения температуры тыльной стороны образца). Так как эта асимптота в общем случае не совпадает с осью абсцисс, то в предлагаемое уравнение необходимо ввести дополнительный член.

Тогда общий вид экспериментальной кривой может быть описан уравнением вида:

$$y = A x e^{-Bx} + C(1 - e^{-Bx}) = (Ax - C)e^{-Bx} + C,$$

где y — одна из характеристик тепловыделения (максимальная интенсивность, общее количество тепла, выделившегося за заданный интервал времени);

x — толщина (или поверхностная плотность) материала;

A , B и C — коэффициенты, зависящие от химической природы и структуры материала (теплоты сгорания, коксового числа, теплоты деструкции, теплофизических характеристик и др.).

Используя метод наименьших квадратов (МНК) для всего массива данных (по три параллельных испытания для каждой толщины испытуемого материала), рассчитали коэффициенты к уравнениям зависимости максимальной интенсивности выделения тепла и общее количество тепла, выделившегося за заданный промежуток времени, от толщины материала.

В случае описания максимальной интенсивности выделения тепла и общего количества тепла, выделившегося в течение первых 1 или 2 мин испытания, образцы стеклопластиков толщиной свыше 4 мм в заданных условиях эксперимента оказались близкими к термически толстому материалу (кривая близка к асимптоте).

Исходя из физического смысла коэффициента C (в соответствии с которым он не может принимать большие отрицательные значения), был произведен уточненный перерасчет коэффициентов A и B при заданных значениях коэффициента C . Коррекция потребовалась для описания изменения общего количества тепла, выделившегося в течение первых 5 мин испытания, так как в этом случае максимальная испытанная толщина образца материала (около 4,5 мм)

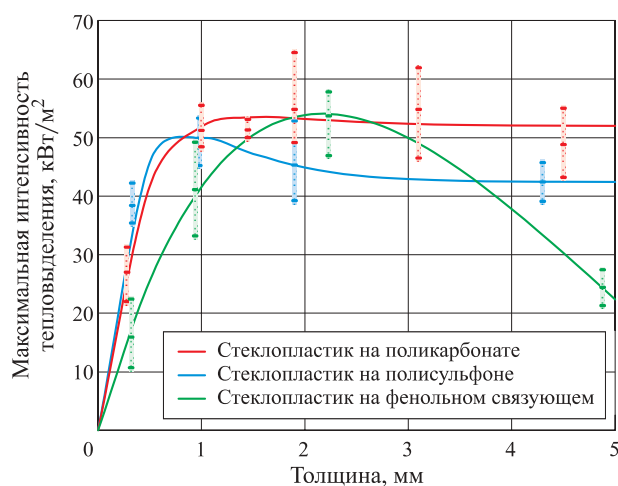


Рис. 2. Изменение максимальной интенсивности выделения тепла в зависимости от толщины испытываемого образца материала

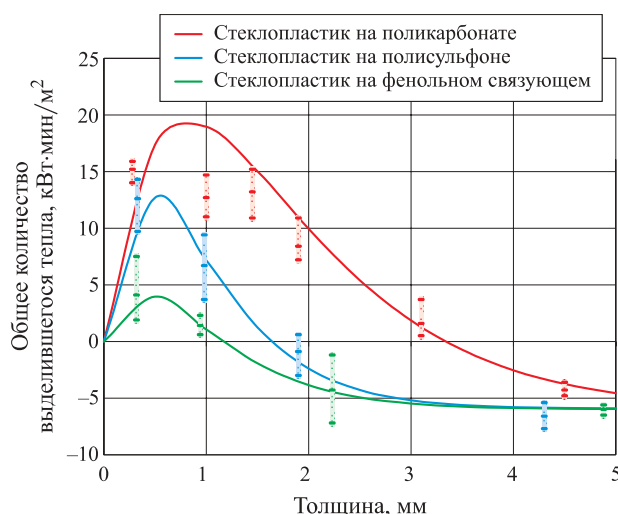


Рис. 3. Изменение общего количества тепла, выделившегося при горении в течение первой минуты испытания, в зависимости от толщины образца материала

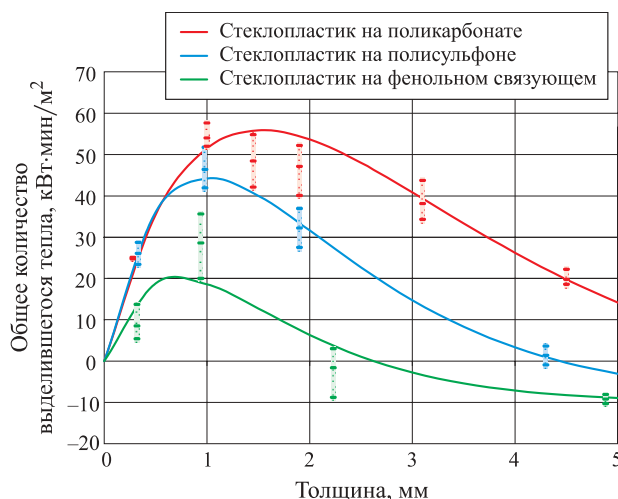


Рис. 4. Изменение общего количества тепла, выделившегося при горении в течение первых 2 мин испытания, в зависимости от толщины образца материала

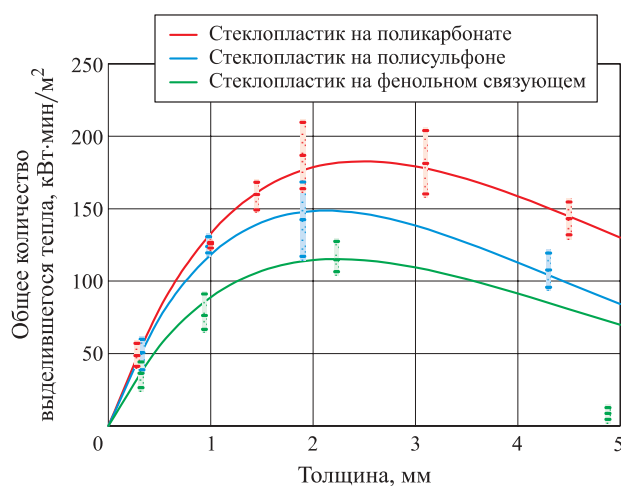


Рис. 5. Изменение общего количества тепла, выделившегося при горении в течение первых 5 мин испытания, в зависимости от толщины образца материала

оказывается далекой от термически толстого материала и расчет коэффициента C может сопровождаться большой ошибкой. Коррекция не привела к существенному изменению коэффициента корреляции.

Все полученные расчетные графики приведены на рис. 2–5. На них отмечены экспериментальные значения (минимальное, максимальное и среднее) для каждой толщины испытываемого материала. Из рисунков видно, что получено удовлетворительное описание экспериментальных точек предложенной формулой. Значения рассчитанных коэффициентов A , B и C приведены в табл. 3, из которой видно, что с увеличением задаваемого периода (1, 2 или 5 мин) практически пропорционально возрастает коэффициент A и снижается коэффициент B . В зависимости от химической природы и термостойкости полимерной матрицы коэффициенты A и B для одного и того же уравнения изменяются в 1,5...2 раза. Величина коэффициента C остается практически постоянной независимо от типа полимерной матрицы для уравнений, описывающих общее количество тепла, выделившегося в течение первых 1 или 2 мин, но существенно варьирует для уравнения, описывающего максимальную интенсивность тепловыделения. В дальнейшем с увеличением количества испытанных типов образцов планируется провести работы по установлению корреляции коэффициентов уравнений с химическими и теплофизическими свойствами, а также структурой композиционных материалов.

Таким образом, по результатам данной работы показано, что зависимость характеристик выделения тепла от толщины материала носит экстремальный характер. Характеристики тепловыделения (максимальная интенсивность выделения тепла, общее количество тепла, выделившегося в течение первых 2 мин) имеют максимум для материалов толщиной

Таблица 3. Значения коэффициентов уравнений вида $y = (Ax - C)e^{-Bx} + C$, описывающих изменение характеристик тепловыделения с увеличением толщины стеклопластиков

Характеристика тепловыделения	Полимерная матрица								
	Поликарбонат			Полисульфон			Фенолформальдегидное связующее		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Максимальная интенсивность выделения тепла, кВт/м ²	51	1,9	52	104	2,1	42	74	0,46	-12
Общее количество тепла, кВт·мин/м ² , выделившегося в течение:									
первой минуты	71	1,3	-5	88	2,0	-6	37	1,8	-6
первых 2 мин	100	0,63	-9	128	0,91	-10	85	1,2	-10
первых 5 мин	208	0,38	-30*	200	0,44	-30*	149	0,41	-30*

* Принятые значения коэффициента.

1,5...3 мм. Следовательно, для стеклопластиков эти толщины являются наиболее опасными с точки зрения существующих норм по тепловыделению при горении.

Предложено кривую изменения характеристик тепловыделения стеклопластика в зависимости от

толщины описывать уравнением вида $y = (Ax - C) \times e^{-Bx} + C$. Получено удовлетворительное описание экспериментальных данных. Значения коэффициентов уравнений существенно меняются в зависимости от вида регистрируемой характеристики и химического состава материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барботько С. Л., Кириллов В. Н., Шуркова Е. Н. Оценка пожарной безопасности полимерных композиционных материалов авиационного назначения // Авиационные материалы и технологии. — 2012. — № 3. — С. 56–63.
2. Барботько С. Л., Воробьев В. Н., Кириллов В. Н. Использование метода определения скорости выделения тепла для оценки пожарной опасности полимерных материалов авиационного назначения // Авиационные материалы и технологии. — 2001. — Вып.: Методы испытаний и контроля качества металлических и неметаллических материалов. — С. 74–81.
3. Барботько С. Л., Воробьев В. Н., Кавун Н. С., Ракитина В. П. Исследование влияния толщины микросферотекстолитов на показатели тепловыделения // Авиационные материалы и технологии. — 2008. — № 2. — С. 24–26.
4. Шуркова Е. Н., Вольный О. С., Изотова Т. Ф., Барботько С. Л. Исследование возможности снижения тепловыделения при горении композиционного материала путем изменения его структуры // Авиационные материалы и технологии. — 2012. — № 1. — С. 27–30.
5. Авиационные правила. Глава 25. Нормы летной годности самолетов транспортной категории // Межгосударственный авиационный комитет. — Изд. 3-е с попр. 1–6. — М.: ОАО «Авиаиздат», 2009. — 274 с.
6. Барботько С. Л., Вольный О. С., Изотова Т. Ф. Математическое моделирование тепловыделения при горении для полимерных композиционных материалов различной толщины // Пожаровзрывобезопасность. — 2007. — Т. 16, № 4. — С. 16–20.

Материал поступил в редакцию 25 февраля 2013 г.

English

THE INFLUENCE OF FIBREGLASSES THICKNESS ON HEAT RELEASE CHARACTERISTICS AT BURNING

BARBOTKO S. L., Candidate of Technical Sciences, Head of Laboratory "Research of Nonmetallic Materials on Climatic, Microbiological Resistance and Fire Safety", Federal State Unitary Enterprise "All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials", State Research Center of the Russian Federation (Radio St., 17, Moscow, 105005, Russian Federation; e-mail address: slbarbotko@yandex.ru)

SHVETS N. I., Candidate of Technical Sciences, Head of Sector of Laboratory "Polymeric Binders for Nonmetallic Materials and Special Liquids", Federal State Unitary Enterprise "All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials", State Research Center of the Russian Federation (Radio St., 17, Moscow, 105005, Russian Federation; e-mail address: shvecni@viam.ru)

ZASTROGINA O. B., Candidate of Technical Sciences, Deputy Head of Laboratory "Polymeric Binders for Nonmetallic Materials and Special Liquids", Federal State Unitary Enterprise "All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials", State Research Center of the Russian Federation (Radio St., 17, Moscow, 105005, Russian Federation; e-mail address: zastroginaob@viam.ru)

IZOTOVA T. F., Leading Engineer of Laboratory "Decorative, Acoustic, Technical Textile and Thermoplastic Constructional Materials", Federal State Unitary Enterprise "All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials", State Research Center of the Russian Federation (Radio St., 17, Moscow, 105005, Russian Federation)

ABSTRACT

All the materials intended for manufacturing of aviation technics, should correspond to requirements of aviation rules, including the fire safety. As characteristics of fire danger depend on sample thickness, therefore the analytical dependences of change of the defined fire characteristic with growth of thickness of a material is desirable. In this work are carried out researches of influence of fiberglass sample thickness on characteristics of heat released at burning (the maximal heat release rate, total heat release at 1; 2 or 5 minutes). Tests of samples of fibreglasses with thickness from 0,2 up to 4,5 mm have been implemented for polymeric binders the various chemical nature: thermoplastic with low coke formation (polycarbonate), thermoplastic with an middle coke formation (polysulphone), thermosetting plastic with high cokes number (phenolic binder). For exception of influence of filler type, all experiments are executed on the same type of fiber glass fabric — T-15(P)-76. Tests on heat release rate were carried out on OSU-type calorimeter according to requirements of aviation norms (heat flux 35 kW/m²). It is shown, that heat released lines have extreme character with a maximum at thickness 1...3 mm. For the analytical description of dependence of characteristics of a thermal emission from thickness the analytical equation of a kind $y = (Ax - C) \times e^{-Bx} + C$ is offered. Factors of the equation depend from both as a kind of the characteristic of a heat release, and nature polymeric matrix. Factors of the equations for three types of a polymeric matrix — polysulphone, polycarbonate, phenolic binder are calculated. It is shown, that the offered analytical equation allows describing experimental results on the maximal intensity of a heat release rate (peak) and total heat releases at first two minutes with satisfactory accuracy.

Keywords: fire safety; heat release; fiberglass.

REFERENCES

1. Barbotko S. L., Kirillov V. N., Shurkova E. N. Otsenka pozharnoy bezopasnosti polimernykh kompozitsionnykh materialov aviatsionnogo naznacheniya [Estimation of fire safety for polymeric composite materials of aviation purpose]. *Aviatsionnyye materialy i tekhnologii — Aviation Materials and Technologies*, 2012, no. 3, pp. 56–63.
2. Barbotko S. L., Vorobyev V. N., Kirillov V. N. Ispolzovaniye metoda opredeleniya skorosti vydeleniya tepla dlya otsenki pozharnoy opasnosti polimernykh materialov aviatsionnogo naznacheniya [The use of a method of heat release rate for an estimation of fire danger of polymeric materials of aviation purpose]. *Aviatsionnyye materialy i tekhnologii. Vypusk "Metody ispytaniy i kontrolya kachestva metallicheskih i nemetallicheskih materialov" — Aviation materials and technologies. Issue "Test methods and quality assurance of metal and nonmetallic materials"*, 2001, pp. 74–81.
3. Barbotko S. L., Vorobyev V. N., Kavun N. S., Rakitina V. P. Issledovaniye vliyaniya tolshchiny mikro-sferotekstolitov na pokazateli teplovydeleniya [The research of the influence of thickness microsphere-textolites on a heat release rate parameters]. *Aviatsionnyye materialy i tekhnologii — Aviation Materials and Technologies*, 2008, no. 2, pp. 24–26.
4. Shurkova E. N., Volnyy O. S., Izotova T. F., Barbotko S. L. Issledovaniye vozmozhnosti snizheniya teplovydeleniya pri gorenii kompozitsionnogo materiala putem izmeneniya ego struktury [Research of an opportunity to reduction the heat release at burning for polymer composite material due to a changing of its structure]. *Aviatsionnyye materialy i tekhnologii — Aviation Materials and Technologies*, 2012, no. 1, pp. 27–30.
5. *Aviation rules. Chapter 25. Airworthiness norms of a transport category airplanes. Interstate Aviation Committee*. Ed. 3 with amendments 1–6. Moscow, Aviaizdat, 2009, 274 p. (in Russian).
6. Barbotko S. L., Volnyy O. S., Izotova T. F. Matematicheskoye modelirovaniye teplovydeleniya pri gorenii dlya polimernykh kompozitsionnykh materialov razlichnoy tolshchiny [Mathematical modelling of a heat release rate at burning for polymeric composite materials of various thickness]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2007, vol. 16, no. 4, pp. 16–20.

С. Г. КОТОВ, заместитель начальника организационно-аналитического управления Департамента по надзору за безопасным ведением работ в промышленности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь (Беларусь, 220108, г. Минск, ул. Казинца, 86/1; e-mail: kotov.sergei.g@gmail.com)

В. А. САЕЧНИКОВ, д-р физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой физики и аэрокосмических технологий Белорусского государственного университета (Беларусь, 220030, г. Минск, ул. Курчатова, 5; e-mail: saetchnikov@bsu.by)

Д. С. КОТОВ, начальник группы планирования, командно-программного и баллистико-навигационного обеспечения УП "Геоинформационные системы" (Беларусь, 220012, г. Минск, ул. Сурганова, 6; e-mail: viscount.d@gmail.com)

Е. В. ВЕРХОТУРОВА, старший преподаватель кафедры физики и аэрокосмических технологий Белорусского государственного университета (Беларусь, 220030, г. Минск, ул. Курчатова, 5; e-mail: everkhoturova@gmail.com)

УДК 502.1,51-74,614.83,614.841.414

ЭКСПРЕСС-МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗОН ПОРАЖЕНИЯ ОПАСНЫМИ ФАКТОРАМИ ПОЖАРА И ВЗРЫВА ПРИ ВЫБРОСЕ СИЛЬНОДЕЙСТВУЮЩИХ ЯДОВИТЫХ ВЕЩЕСТВ

Показано, что для ряда сильнодействующих ядовитых веществ, наряду с расчетом зоны поражения при ингаляционном воздействии на организм человека, необходимо выполнять расчет зон поражения опасными факторами, возникающими в результате пожара и взрыва. Исходя из требований технических нормативных правовых актов Республики Беларусь, разработаны теоретические основы экспресс-метода прогнозирования зон поражения ударной волной и тепловым излучением для сильнодействующих ядовитых веществ, являющихся жидкостями с температурой кипения выше температуры окружающей среды, сжатыми и сжиженными газами. Получены полиномы расчета зон поражения ударной волной, тепловым излучением пожаров пролива и "огненного шара" для сильнодействующих ядовитых веществ, являющихся жидкостями с температурой кипения выше температуры окружающей среды, сжатыми и сжиженными газами. Полученные полиномы составляют основу экспресс-метода прогнозирования зон поражения для сильнодействующих ядовитых веществ.

Ключевые слова: сильнодействующее ядовитое вещество; легковоспламеняющееся вещество; горючее вещество; взрывоопасное вещество; сжатый газ; сжиженный газ; жидкость с температурой кипения выше температуры окружающей среды; выброс; пролив; пожар; взрыв; ударная волна; тепловое излучение; зона поражения; вероятность гибели.

Известно, что значительная часть сильнодействующих ядовитых веществ (СДЯВ) является легко воспламеняющимися и взрывоопасными веществами, что часто приводит к возникновению пожаров и взрывов в случае разрушения емкостей, а также к образованию в результате горения новых токсических соединений [1].

Согласно техническим нормативным правовым актам Республики Беларусь для пожаровзрывоопасных СДЯВ, наряду с определением зоны поражения, необходимо рассчитывать вероятность гибели людей при пожарах и взрывах согласно [2].

В [3] обоснован перечень СДЯВ, для которых согласно техническим нормативным правовым актам Республики Беларусь необходимо выполнять расчет вероятности гибели людей при пожарах и взрывах. В статье [3] приведены результаты обобщения

литературных данных по физико-химическим свойствам, необходимых для расчета зон поражения опасными факторами, возникающими в результате пожара и взрыва. В тех случаях, когда таких данных в литературе обнаружить не удалось, был выполнен их расчет. По результатам обобщения литературных данных и результатов расчетов сформирована база данных, необходимых для расчета зон поражения при пожарах и взрывах сильнодействующих ядовитых веществ.

В настоящей статье представлены теоретические основы экспресс-метода прогнозирования зон поражения при пожарах и взрывах.

Поражение человека при пожарах и взрывах сжатых газов, в том числе СДЯВ, возможно как поражающими факторами ударной волны, так и тепловым излучением "огненного шара".

Формула нахождения пробит-функции P_r для определения вероятности поражения ударной волной при сгорании сжатых газов имеет вид:

$$P_r = 5 - 0,26 \ln \left[4,3805 \cdot 10^{35} r^{25,2} / (2,3508 Q_{cr}^{0,33} Q_0^{0,33} r^2 + 0,2565 Q_{cr}^{0,66} Q_0^{0,66} r + 0,0112 Q_{cr} Q_0)^{8,4} + 1,0915 \cdot 10^{32} r^{9,3} / (Q_{cr}^{6,138} Q_0^{6,138}) \right], \quad (1)$$

где r — расстояние от геометрического центра газопаровоздушного облака, м;

Q_{cr} — удельная теплота сгорания газа или пара, Дж/кг;

Q_0 — количество выброшенного (разлившегося) при аварии вещества, т.

Таким образом, вероятность поражения ударной волной при выбросе сжатого СДЯВ зависит только от трех параметров: удельной теплоты сгорания газа, количества выброшенного вещества и расстояния от геометрического центра газопаровоздушной смеси.

Для конкретного СДЯВ удельная теплота сгорания газа — величина постоянная, поэтому расстояние, на котором возможно поражение человека с определенной вероятностью, строго связано с параметром Q_0 .

Формула нахождения пробит-функции P_r для определения вероятности поражения тепловым излучением “огненного шара” при сгорании сжатых газов имеет вид:

$$P_r = -14,9 + 2,56 \ln \left\{ 7,4608 Q_0^{0,303} \times \left[112,5 \exp \left[-7,0 \cdot 10^{-4} \left(\sqrt{r^2 + 650,7204 Q_0^{0,654}} - 25,5092 Q_0^{0,327} \right) \right] \left(1 + \frac{r^2}{2602,8816 Q_0^{0,654}} \right)^{-1,5} \right]^{1,33} \right\}. \quad (2)$$

Таким образом, вероятность поражения тепловым излучением при выбросе сжатого СДЯВ зависит только от количества выброшенного вещества и расстояния от геометрического центра “огненного шара”. Следовательно, для всех сжатых СДЯВ зависимость расстояния, на котором возможно поражение человека с определенной вероятностью, от количества выброшенного СДЯВ будет описываться единой функцией.

Поражение человека при пожарах и взрывах жидкостей с температурой кипения выше температуры окружающей среды, в том числе СДЯВ, возможно как поражающими факторами ударной волны, так и тепловым излучением пожара пролива.

Формула нахождения пробит-функции P_r для определения вероятности поражения ударной волной при сгорании жидких СДЯВ имеет вид:

- для СДЯВ, являющихся растворителями:

$$P_r = 5 - 0,26 \ln \left\{ 4,3805 \cdot 10^{35} r^{25,2} / (2,3508 Q_{cr}^{0,33} Q_0^{0,33} r^2 + 0,2565 Q_{cr}^{0,66} Q_0^{0,66} r + 1,1173 \cdot 10^{-2} \times Q_{cr} Q_0)^{8,4} + \frac{1,0915 \cdot 10^{32} r^{9,3}}{Q_{cr}^{6,138} Q_0^{6,138}}, \right. \\ \left. \text{если } \frac{1,5 \cdot 10^{-7} \sqrt{M P_n T}}{d} \geq 1; \right. \\ 4,3805 \cdot 10^{35} r^{25,2} / (1,3162 \cdot 10^{-2} \times \left[\frac{\sqrt{M P_n T} Q_{cr} Q_0}{d} \right]^{0,33} r^2 + 8,0403 \cdot 10^{-6} \left[\frac{\sqrt{M P_n T} Q_{cr} Q_0}{d} \right]^{0,66} r + 1,6759 \cdot 10^{-9} \frac{\sqrt{M P_n T} Q_{cr} Q_0}{d})^{8,4} + \\ \left. + 8,3669 \cdot 10^{73} \left/ \left[\frac{\sqrt{M P_n T} Q_{cr} Q_0}{d} \right]^{6,138} \right. \right. \\ \left. \left. \text{если } \frac{1,5 \cdot 10^{-7} \sqrt{M P_n T}}{d} < 1; \right. \right. \quad (3)$$

- для остальных СДЯВ (с температурой кипения выше температуры окружающей среды, не являющихся растворителями):

$$P_r = 5 - 0,26 \ln \left\{ 4,3805 \cdot 10^{35} r^{25,2} / (2,3508 Q_{cr}^{0,33} Q_0^{0,33} r^2 + 0,2565 Q_{cr}^{0,66} Q_0^{0,66} r + 1,1173 \cdot 10^{-2} \times Q_{cr} Q_0)^{8,4} + \frac{1,0915 \cdot 10^{32} r^{9,3}}{Q_{cr}^{6,138} Q_0^{6,138}}, \right. \\ \left. \text{если } \frac{1,5 \cdot 10^{-7} \sqrt{M P_n T}}{d} \geq 1; \right. \\ 4,3805 \cdot 10^{35} r^{25,2} / (1,1514 \cdot 10^{-2} \times \left[\frac{\sqrt{M P_n T} Q_{cr} Q_0}{d} \right]^{0,33} r^2 + 6,1525 \cdot 10^{-6} \left[\frac{\sqrt{M P_n T} Q_{cr} Q_0}{d} \right]^{0,66} r + 1,1173 \cdot 10^{-9} \frac{\sqrt{M P_n T} Q_{cr} Q_0}{d})^{8,4} + \\ \left. + 1,0081 \cdot 10^{75} \left/ \left[\frac{\sqrt{M P_n T} Q_{cr} Q_0}{d} \right]^{6,138} \right. \right. \\ \left. \left. \text{если } \frac{1,5 \cdot 10^{-7} \sqrt{M P_n T}}{d} < 1, \right. \right. \quad (4)$$

где M — относительная молекулярная масса вещества;

P_n — давление насыщенного пара вещества при заданной температуре воздуха, мм рт. ст.;

T — продолжительность поступления паров ЛВЖ и ГЖ в окружающее пространство, с;

d — плотность СДЯВ, т/м³.

Таким образом, вероятность поражения ударной волной при выбросе СДЯВ, являющегося жидкостью, в общем случае зависит от восьми параметров: растворяющей способности, молекулярной массы, давления насыщенного пара при расчетной температуре жидкости, плотности, удельной теплоты сгорания, количества выброшенного вещества, продолжительности поступления паров в окружающее пространство и расстояния от геометрического центра газозвушной смеси.

Единственной переменной величиной является продолжительность поступления паров ЛВЖ и ГЖ в окружающее пространство, которая, как известно [2], не может превышать 3600 с.

Для конкретного СДЯВ растворяющая способность, молекулярная масса, давление насыщенного пара при расчетной температуре жидкости, плотность, удельная теплота сгорания — величины постоянные. Следовательно, для всех СДЯВ, являющихся жидкостями с температурой кипения выше температуры окружающей среды, зависимость расстояния, на котором возможно поражение человека с определенной вероятностью, от количества выброшенного СДЯВ будет описываться единой функцией.

Формула расчета пробит-функции P_r для пожара проливов жидких СДЯВ, являющихся растворителями, имеет вид:

$$P_r = -14,9 + 2,56 \ln \left(\left(5 + \frac{r - r_4}{5} \right) \left(40 f_4(r, Q_0) \times \exp \left[-7,0 \cdot 10^{-4} \left(r - 12,2474 \cdot 10^2 \sqrt{\frac{Q_0}{\pi d}} \right) \right] \right)^{1,33} \right), \quad (5)$$

где r_4 — расстояние от центра пролива, на котором интенсивность теплового излучения равна $4 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$, м;

f_4 — специальная функция.

Формула расчета пробит-функции P_r для пожара проливов жидких СДЯВ, не являющихся растворителями, имеет вид:

$$P_r = -14,9 + 2,56 \ln \left(\left(5 + \frac{r - r_4}{5} \right) \left(40 f_4(r, Q_0) \times \exp \left[-7,0 \cdot 10^{-4} \left(r - 10 \sqrt{\frac{Q_0}{\pi d}} \right) \right] \right)^{1,33} \right). \quad (6)$$

Таким образом, вероятность поражения тепловым излучением при проливах жидких СДЯВ зависит от того, является ли вещество растворителем или нет, а также от количества выброшенного вещества, его плотности и расстояния от источника излучения до облучаемого объекта.

Для конкретного СДЯВ, являющегося жидкостью с температурой кипения выше температуры окружающей среды, зависимость расстояния, на котором возможно поражение человека с определен-

ной вероятностью, от количества выброшенного СДЯВ описывается конкретной функцией.

Поражение человека при пожарах и взрывах сжиженных газов, в том числе СДЯВ, возможно как поражающими факторами ударной волны, так и тепловым излучением “огненного шара” и пожара пролива.

Определить вероятность поражения ударной волной при проливе сжиженных СДЯВ можно путем расчета пробит-функции P_r :

$$P_r = 5 - 0,26 \ln \left(\begin{aligned} & 4,3805 \cdot 10^{35} r^{25,2} / [2,9074 r^2 \times \\ & \times \left(Q_{cr} Q_0 \left(\frac{10^{-7} \sqrt{M P_n T}}{d} + \right. \right. \\ & \left. \left. + \frac{2 C_3 (T_a - T_{кип})}{L_{исп}} \right) \right)^{0,33} + 0,3923 r \times \\ & \times \left(Q_{cr} Q_0 \left(\frac{10^{-7} \sqrt{M P_n T}}{d} + \right. \right. \\ & \left. \left. + \frac{2 C_3 (T_a - T_{кип})}{L_{исп}} \right) \right)^{0,66} + 0,0213 \times \\ & \times Q_{cr} Q_0 \left(\frac{10^{-7} \sqrt{M P_n T}}{d} + \right. \\ & \left. \left. + \frac{2 C_3 (T_a - T_{кип})}{L_{исп}} \right) \right)^{8,4} + \\ & + 2,1001 \cdot 10^{30} r^{9,3} \times \\ & \times \left[\left(Q_{cr} Q_0 \left(\frac{10^{-7} \sqrt{M P_n T}}{d} + \right. \right. \right. \\ & \left. \left. \left. + \frac{2 C_3 (T_a - T_{кип})}{L_{исп}} \right) \right)^{0,66} \right]^{-9,3}, \\ & \text{если } \left(\frac{10^{-7} \sqrt{M P_n T}}{d} + \right. \\ & \left. \left. + \frac{2 C_3 (T_a - T_{кип})}{L_{исп}} \right) < 1; \right. \\ & 4,3805 \cdot 10^{35} r^{25,2} / [2,9074 r^2 \times \\ & \times \left(Q_{cr} Q_0 \left(\frac{10^{-7} \sqrt{M P_n T}}{d} + 8 \cdot 10^{-4} \right) \right)^{0,33} + \\ & + 0,3923 r \left(Q_{cr} Q_0 \left(\frac{10^{-7} \sqrt{M P_n T}}{d} + \right. \right. \\ & \left. \left. + 8 \cdot 10^{-4} \right) \right)^{0,66} + 0,0213 Q_{cr} Q_0 \times \\ & \times \left(\frac{10^{-7} \sqrt{M P_n T}}{d} + 8 \cdot 10^{-4} \right) \right)^{8,4} + \\ & + 2,1001 \cdot 10^{30} r^{9,3} \times \\ & \times \left[Q_{cr} Q_0 \left(\frac{10^{-7} \sqrt{M P_n T}}{d} + 8 \cdot 10^{-4} \right) \right]^{0,66} \left. \right]^{-9,3}, \\ & \text{если } \left(\frac{10^{-7} \sqrt{M P_n T}}{d} + 8 \cdot 10^{-4} \right) < 1. \end{aligned} \right), \quad (7)$$

Таким образом, вероятность поражения ударной волной при выбросе СДЯВ, являющегося сжи-

женным газом, в общем случае зависит от 11 параметров: молекулярной массы, плотности жидкости, давления насыщенного пара при расчетной температуре жидкости, удельной теплоты сгорания, нормальной температуры кипения жидкости, удельной теплоты испарения жидкости при температуре перегрева, теплоемкости жидкости при температуре ее перегрева, температуры жидкости в технологическом аппарате, количества выброшенного вещества, продолжительности поступления паров в окружающее пространство и расстояния от геометрического центра газозвушной смеси.

Для конкретного СДЯВ, являющегося сжатым газом, молекулярная масса, плотность жидкости, удельная теплота сгорания, нормальная температура кипения жидкости — величины постоянные.

Единственной неопределенной величиной является температура жидкости в технологическом аппарате. Она может колебаться в широком диапазоне — от нормальной температуры кипения жидкости до температуры, соответствующей критическому давлению.

В то же время для конкретного СДЯВ, являющегося сжиженным газом, и для конкретной температуры в технологическом аппарате зависимость расстояния, на котором возможно поражение человека с определенной вероятностью, от количества вылившегося СДЯВ будет определенной функцией.

В данном случае возможен как “огненный шар”, так и пожар пролива жидкости. Для случая “огненного шара” справедлива формула (2). Для СДЯВ, являющихся сжиженными газами, для пожаров проливов жидкости справедливо равенство (6).

Для нахождения расстояния, на котором возможно поражение человека с определенной вероятностью при определенном количестве вылившегося СДЯВ, для конкретного значения P_r , исходя из уравнений соответственно (1)–(7), необходимо получить зависимость r от Q_0 . Сделать это аналитическим методом практически невозможно, поэтому для нахождения функции $r = f(Q_0)$ для СДЯВ использовались возможности ПВМ, когда для заданного значения Q_0 определялось расстояние r , при котором достигалось требуемое значение P_r .

С использованием данных, приведенных в [3] и разработанных в рамках диссертационного исследования [4] программных средств, получены массивы размеров зон поражения, характеризующихся вероятностью гибели людей 1; 50 и 99,9 %, при пожарах и взрывах, сопровождающих выброс СДЯВ, являющихся пожаровзрывоопасными сжатыми и сжиженными газами и жидкостями с температурой кипения выше температуры окружающей среды.

Расчеты показали, что для СДЯВ, являющихся сжатыми газами, в одних случаях наиболее вероят-

ным поражающим фактором является ударная волна, а в других — тепловое излучение.

Результаты обработки зависимостей размера зоны поражения от количества выброшенного СДЯВ свидетельствуют, что они не описываются полиномами, предложенными в [5].

Исходя из анализа полученных выражений и на основе графика зависимости зоны поражения от количества СДЯВ предпринята попытка поиска зависимости глубины зоны поражения от поражающих факторов ударной волны в виде инверсного преобразования Блейсдейла [6]:

$$R_i = \frac{m}{(a + bm)^{-1/c}} + d, \quad (8)$$

где R_i — глубина зоны поражения, м, при вероятности гибели людей i , %;

m — масса выброшенного (вылившегося) количества СДЯВ, кг;

a, b, c, d — эмпирические коэффициенты.

Для нахождения коэффициентов в уравнении (8) использовался метод нелинейной аппроксимации Левенберга–Маркварда [7].

Значения эмпирических коэффициентов в уравнении (8) для СДЯВ, являющихся сжатыми газами, приведены в табл. 1. Используя эти эмпирические коэффициенты, можно рассчитать глубину зоны поражения ударной волной с достаточной для практического применения погрешностью.

Для определения зависимости глубины зоны поражения от поражающих факторов теплового излучения “огненного шара” выражение (8) оказалось неприемлемым.

Исходя из анализа полученных выражений и на основе графика зависимости зоны поражения от количества СДЯВ предпринята попытка поиска зависимости глубины зоны поражения от поражающих факторов теплового излучения “огненного шара” в виде [7]:

$$R_i = a \left(1 - \left[1 + \left(\frac{m}{b} \right)^c \right]^{-d} \right). \quad (9)$$

Определение коэффициентов в уравнении (9) также выполнено методом Левенберга–Маркварда [7].

Значения эмпирических коэффициентов в уравнении (9) для СДЯВ, являющихся сжатыми газами, приведены в табл. 2.

Пользуясь формулой (9) и значениями коэффициентов, приведенными в табл. 2, можно рассчитать глубину зоны поражения с погрешностями, достаточными для практического применения.

Расчеты для СДЯВ, являющихся жидкостями с температурой кипения выше температуры окружающей среды, показали, что наиболее вероятным поражающим фактором является ударная волна и

Таблица 1. Значения эмпирических коэффициентов в уравнении (8) для СДЯВ, являющихся сжатыми газами

СДЯВ	Вероятность гибели людей, %	a	b	c	d
Аммиак	1	$1 \cdot 10^{-4}$	$3,535 \cdot 10^{-4}$	-1,4932	4
	50	$6,69 \cdot 10^{-4}$	$1,1749 \cdot 10^{-3}$	-1,49437	4
	99,9	0,498	$4,347 \cdot 10^{-3}$	-1,50092	27,26
Водород мышьяковистый	1	$1,32 \cdot 10^{-3}$	$6,2937 \cdot 10^{-4}$	-1,49482	24,2
	50	0,2	$2,16 \cdot 10^{-3}$	-1,4999	52,0
	99,9	0,1	$7,43 \cdot 10^{-3}$	-1,4966	4,2
Диметил-амин	1	$3,148 \cdot 10^{-5}$	$2,6855 \cdot 10^{-4}$	-1,49315	4
	50	$2,6 \cdot 10^{-4}$	$8,914 \cdot 10^{-4}$	-1,494261	4
	99,9	$4,7 \cdot 10^{-3}$	$3,182 \cdot 10^{-3}$	-1,4965	3,0
Метил-амин	1	$3,98 \cdot 10^{-5}$	$2,8415 \cdot 10^{-4}$	-1,4932	4
	50	$3,26 \cdot 10^{-4}$	$9,433 \cdot 10^{-4}$	-1,49428	4
	99,9	$5,0 \cdot 10^{-3}$	$3,369 \cdot 10^{-3}$	-1,4966	3
Метил бромистый	1	0,01	$1,159 \cdot 10^{-3}$	-1,49333	8
	50	$3,7 \cdot 10^{-2}$	$3,886 \cdot 10^{-3}$	-1,4954	7
	99,9	0,39	$1,42 \cdot 10^{-2}$	-1,4996	70
Метил хлористый	1	0,21	$3,918 \cdot 10^{-3}$	-1,4934	5,7
	50	1,4	$1,325 \cdot 10^{-2}$	-1,4961	6
	99,9	51,0	$5,36 \cdot 10^{-2}$	-1,51	17
Метил-меркаптан	1	$5,8 \cdot 10^{-4}$	$5,924 \cdot 10^{-4}$	-1,4933	5
	50	0,173	$1,999 \cdot 10^{-3}$	-1,4964	24,7
	99,9	0	$7,898 \cdot 10^{-3}$	-1,5102	51
Оксид этилена	1	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$6,39 \cdot 10^{-4}$	-1,4951	27
	50	0,2	$2,197 \cdot 10^{-3}$	-1,500333	55
	99,9	0,288	$7,762 \cdot 10^{-3}$	-1,5004	14
Серо-водород	1	$5,3 \cdot 10^{-4}$	$5,801 \cdot 10^{-4}$	-1,49331	5
	50	0	$2,0036 \cdot 10^{-3}$	-1,5004	18
	99,9	0,3	$7,12 \cdot 10^{-3}$	-1,5004	15
Три-метил-амин	1	$5,2 \cdot 10^{-4}$	$5,747 \cdot 10^{-4}$	-1,49331	5
	50	0,1462	$1,94 \cdot 10^{-3}$	-1,4965	24,9
	99,9	0,2	$6,869 \cdot 10^{-3}$	-1,497	5,98
Формаль-дегид	1	$2,53 \cdot 10^{-2}$	$8,086 \cdot 10^{-4}$	-1,5027	119
	50	$5,5 \cdot 10^{-2}$	$2,639 \cdot 10^{-3}$	-1,5002	38,8
	99,9	0,4	$9,3 \cdot 10^{-3}$	-1,4996	11
Оксиды азота	1	$1,29 \cdot 10^{-2}$	$1,5596 \cdot 10^{-3}$	-1,4935	5
	50	$8,7 \cdot 10^{-2}$	$5,236 \cdot 10^{-3}$	-1,49561	7
	99,9	1,235	$1,8892 \cdot 10^{-3}$	-1,498	4

только в ряде случаев при вероятности гибели человека 1 % — тепловое излучение пожара пролива.

Значения эмпирических коэффициентов в уравнении (8) для СДЯВ с температурой кипения выше температуры окружающей среды, не являющихся

Таблица 2. Значения эмпирических коэффициентов в уравнении (9) для случая теплового излучения "огненного шара" для СДЯВ, являющихся сжатыми и сжиженными газами

№ п/п	Вероятность гибели людей, %	Максимальная глубина зоны поражения, м	a	b	c	d
1	1	9702	-5073,1	1243	0,4409	-0,268271
2	50	8811	-4527,7	1911	0,4551	-0,2758
3	99,9	7596	-3100	2126	0,5129	-0,28482

Таблица 3. Значения эмпирических коэффициентов в уравнении (8) для СДЯВ с температурой кипения выше температуры окружающей среды, не являющихся растворителями

СДЯВ	Вероятность гибели людей, %	a	b	c	d
Ацетон-циан-гидрин	1	3,6	$9,84 \cdot 10^{-3}$	-1,4925	5
	50	21	$3,29 \cdot 10^{-2}$	-1,4938	4
	99,9	288	0,118	-1,4945	3
Нитрил акри-ловой кислоты	1	$9,2 \cdot 10^{-2}$	$2,952 \cdot 10^{-3}$	-1,4935	5
	50	0,5	$9,89 \cdot 10^{-3}$	-1,4952	4
	99,9	11	$2,99 \cdot 10^{-2}$	-1,4757	4
Этилен-имин	1	$3,5 \cdot 10^{-2}$	$2,196 \cdot 10^{-3}$	-1,4935	5
	50	0,2	$7,34 \cdot 10^{-3}$	-1,4952	5
	99,9	3	$2,66 \cdot 10^{-2}$	-1,498	4
Этилмер-каптан	1	$8,0 \cdot 10^{-4}$	$6,528 \cdot 10^{-4}$	-1,49333	5
	50	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$3,326 \cdot 10^{-3}$	-1,4949	5
	99,9	0,3	$1,199 \cdot 10^{-2}$	-1,4976	4
Этилен-сульфид	1	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$9,97 \cdot 10^{-4}$	-1,4935	5
	50	$5,0 \cdot 10^{-3}$	$2,174 \cdot 10^{-3}$	-1,4947	4
	99,9	$8,0 \cdot 10^{-2}$	$7,82 \cdot 10^{-3}$	-1,4973	4
Циани-стый водород	1	$9,0 \cdot 10^{-3}$	$1,404 \cdot 10^{-3}$	-1,4935	5
	50	$5,0 \cdot 10^{-2}$	$4,69 \cdot 10^{-3}$	-1,495	4
	99,9	0,8	$1,697 \cdot 10^{-2}$	-1,498	4

растворителями, приведены в табл. 3, а являющихся растворителями — в табл. 4.

Пользуясь формулой (8) и значениями коэффициентов, приведенными в табл. 3 и 4, можно рассчитать глубину зоны поражения с погрешностями, достаточными для практического применения.

Для описания зависимости глубины зоны поражения от поражающих факторов теплового излучения пожара пролива использовано выражение (9).

Значения эмпирических коэффициентов в уравнении (9) для СДЯВ с температурой кипения выше температуры окружающей среды, не являющихся

Таблица 4. Значения эмпирических коэффициентов в уравнении (8) для СДЯВ с температурой кипения выше температуры окружающей среды, являющихся растворителями

СДЯВ	Вероятность гибели людей, %	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
Акролеин	1	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$7,376 \cdot 10^{-4}$	-1,4934	5
	50	$8,0 \cdot 10^{-3}$	$2,455 \cdot 10^{-3}$	-1,4947	5
	99,9	0,1	$8,83 \cdot 10^{-3}$	-1,4974	4
Ацетонитрил	1	$7 \cdot 10^{-2}$	$2,74 \cdot 10^{-3}$	-1,4936	5
	50	0,4	$9,17 \cdot 10^{-3}$	-1,4951	4
	99,9	8	$3,32 \cdot 10^{-2}$	-1,4976	4
Метил-акрилат	1	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$1,627 \cdot 10^{-3}$	-1,4935	5
	50	$8 \cdot 10^{-2}$	$5,44 \cdot 10^{-3}$	-1,4951	4
	99,9	1	$1,9 \cdot 10^{-2}$	-1,498	4
Серо-углерод	1	0,2	$3,98 \cdot 10^{-3}$	-1,497	8
	50	1	$1,3 \cdot 10^{-2}$	-1,4951	4
	99,9	18	$4,7 \cdot 10^{-2}$	-1,4977	3

растворителями, при вероятности гибели людей 1 % приведены в табл. 5, а являющихся растворителями — в табл. 6.

Пользуясь формулой (9) и значениями коэффициентов, приведенными в табл. 4 и 5, можно рассчитать глубину зоны поражения для пожара пролива при вероятности поражения 1 % с погрешностями, достаточными для практического применения.

Результаты расчетов показали, что для сжиженного аммиака, водорода мышьяковистого, метиламина, метила хлористого, сероводорода, формальдегида, оксида азота и триметиламина поражающими факторами будут ударная волна и тепловое излучение “огненного шара”, причем для них будут спра-

Таблица 7. Значения эмпирических коэффициентов в уравнении (8) для сжиженного диметиламина, метила бромистого, метилмеркаптана и оксида этилена

СДЯВ	Вероятность гибели людей, %	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
Диметил-амин	1	$4,8 \cdot 10^{-5}$	$2,9823 \cdot 10^{-4}$	-1,49317	4
	50	$3,7 \cdot 10^{-4}$	$9,904 \cdot 10^{-4}$	-1,4944	4
	99,9	$7,1 \cdot 10^{-3}$	$3,541 \cdot 10^{-3}$	-1,4967	5
Метил бромистый	1	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$1,644 \cdot 10^{-3}$	-1,4935	5
	50	0,1	$5,524 \cdot 10^{-3}$	-1,4957	7
	99,9	1,4	$1,99 \cdot 10^{-2}$	-1,4981	5
Метил-меркаптан	1	$4,0 \cdot 10^{-5}$	$9,469 \cdot 10^{-4}$	-1,4931	3
	50	0,02	$3,175 \cdot 10^{-3}$	-1,4953	7
	99,9	$2,9 \cdot 10^{-3}$	$1,142 \cdot 10^{-2}$	-1,4978	2
Оксид этилена	1	0,01	$1,318 \cdot 10^{-3}$	-1,498	41
	50	0,21	$4,18 \cdot 10^{-3}$	-1,4911	30
	99,9	0,65	$1,56 \cdot 10^{-2}$	-1,4994	7

ведливы полиномы, полученные для СДЯВ, являющихся сжатыми газами (см. табл. 1 и 2).

Для диметиламина, метила бромистого, метилмеркаптана и оксида этилена поражающими факторами также будут ударная волна и тепловое излучение “огненного шара”.

Только для сжиженного оксида этилена при вероятности гибели человека 1 % в ряде случаев тепловое излучение пожара пролива будет преобладающим.

Значения эмпирических коэффициентов в уравнении (8) для сжиженного диметиламина, метила бромистого, метилмеркаптана и оксида этилена приведены в табл. 7.

Таблица 5. Значения эмпирических коэффициентов в уравнении (9) для случая пожара пролива для СДЯВ с температурой кипения выше температуры окружающей среды, не являющихся растворителями

СДЯВ	Вероятность гибели людей, %	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
Ацетонциангидрин	1	-2138	131563	0,5016	-0,9947
Нитрил акриловой кислоты	1	-1805,1	81243	0,5016	-0,9952
Этиленмин	1	-10,162	2,661	3,5542	-0,14053
Цианистый водород	1	-383,43	3141,5	0,50138	-0,99663

Таблица 6. Значения эмпирических коэффициентов в уравнении (9) для случая пожара пролива для СДЯВ с температурой кипения выше температуры окружающей среды, являющихся растворителями

СДЯВ	Вероятность гибели людей, %	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
Ацетонитрил	1	-39,0558	24,67	0,524119	-0,95306
Метилакрилат	1	-129653	322051800	0,5003	-0,9842
Сероуглерод	1	-172,94	778,2	0,50726	-0,9846

Таблица 8. Значения эмпирических коэффициентов в уравнении (9) для сжиженного оксида этилена

СДЯВ	Вероятность гибели людей, %	a	b	c	d
Оксид этилена	1	-1142,8	35634	0,5021	-0,9944

Пользуясь формулой (8) и значениями коэффициентов, приведенными в табл. 7, можно рассчитать глубину зоны поражения с погрешностями, достаточными для практического применения.

Значения эмпирических коэффициентов в уравнении (9) для теплового излучения “огненного шара”

для СДЯВ, являющихся сжиженными газами, приведены в табл. 2, а для теплового излучения пожара пролива при вероятности гибели 1 % — в табл. 8.

Пользуясь формулой (9) и значениями коэффициентов, приведенными в табл. 2 и 8, можно рассчитать глубину зоны поражения для теплового излучения соответственно “огненного шара” и пожара пролива СДЯВ, являющихся сжиженными газами, с погрешностями, достаточными для практического применения.

На основе приведенных выше полиномов разработан экспресс-метод прогнозирования зон поражения опасными факторами пожара и взрыва при выбросе сильнодействующих ядовитых веществ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буланенков С. А., Воронов С. И., Губченко Г. П. и др. Защита населения и территорий от чрезвычайных ситуаций / Под общ. ред. М. И. Фалеева. — Калуга : ГУП “Облиздат”, 2001. — 480 с.
2. НПБ 5–2005. Система пожарного нормирования и стандартизации. Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности : утв. Главным гос. инспектором РБ по пожарному надзору 28.04.2006 г., приказ № 68; введ. 01.07.2006 г. — Минск, 2006. — 42 с.
3. Котов С. Г., Саечников В. А., Котов Д. С., Верхотурова Е. В. База данных для расчета зон поражения при пожарах и взрывах сильнодействующих ядовитых веществ // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 11. — С. 27–34.
4. Котов Д. С. Разработка методов и алгоритмов прогнозирования техногенных чрезвычайных ситуаций для экспертных систем на основе ГИС-технологий : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01; БГУ. — Минск, 2005. — 22 с.
5. Шебеко Ю. Н., Гордиенко Д. М., Дешевых Ю. И., Кириллов Д. С. Экспресс-методы определения условной вероятности поражения человека тепловым излучением при пожарах на наружных технологических установках // Пожарная безопасность. — 2006. — № 5. — С. 73–79.
6. Curve fitting function. URL : <http://www.originlab.com/pdfs/curvefittingfunctions.pdf> (дата обращения: 06.03.2012 г.).
7. Алгоритм Левенберга–Марквардта // MachineLearning. URL : <http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php> (дата обращения: 06.03.2012 г.).

Материал поступил в редакцию 15 апреля 2013 г.

English

EXPRESS METHOD OF PROGNOSING OF LETHAL ZONEZ OF DANGEROUS FACTORS OF FIRES AND EXPLOSIONS DURING TOXIC SUBSTANCE OUTBURSTS

KOTOV S. G., Deputy Chief of Organizational and Analytical Department, Department of Supervision of Safety in Industry of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus (Kazintsa St., 86/1, Minsk, 220108, Belarus; e-mail address: kotov.sergei.g@gmail.com)

SAECHNIKOV V. A., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Head of Physics and Aerospace Technology Chair, Belarusian State University (Kurchatova St., 5, Minsk, 220030, Belarus; e-mail address: saetchnikov@bsu.by)

KOTOV D. S., Chief of the Planning, Commanding, Programming, Ballistics and Navigation Support Group, Unitary Enterprise “Geoinformational Systems” (Surganova St., 6, Minsk, 220012, Belarus; e-mail address: viscount.d@gmail.com)

VERKHOTUROVA E. V., Senior Lecturer of Physics and Aerospace Technology Chair, Belarusian State University (Kurchatova St., 5, Minsk, 220030, Belarus; e-mail address: everkhoturova@gmail.com)

ABSTRACT

According to technical regulations of Republic of Belarus for a set of highly toxic substances calculations of lethal zones of dangerous factors of fires and explosions should be performed together with calculations of lethal zones of inhalation impact on a human organism.

Following the technical regulations of Republic of Belarus theoretical basis was developed for the method of express prognostication of blast waves and thermal emission lethal zones for highly toxic substances that are liquids with boiling point higher than temperature of surrounding media, pressured and liquefied gases. It was shown that retrieval of analytic dependencies of a distance at which human can be damaged with defined probability on a volume of the spilled toxic substance is practically very challenging. That's why electronic computer was used to retrieve the arrays of lethal zone dimensions during fires and explosions with bursts of highly toxic substances that are inflammable and explosive pressured and liquefied gases and liquids with boiling point higher than temperature of the surrounding media with probabilities of human death of 1, 50 and 99,9 %. Amounts of highly toxic substances when most probable damages are blast wave, thermal emission of a spilled fire and "fireball" fire were defined.

The polynomials were retrieved for calculations of lethal zones of blast wave, thermal emission of a spilled fire and "fireball" fire for highly toxic substances that are liquids with boiling points higher than temperature of surrounding media, pressured and liquefied gases. Retrieved polynomials are the basis of the express method of prognostication of lethal zones for highly toxic substances.

Keywords: highly toxic substance; highly inflammable substance; inflammable substance; explosive substance; pressure gas; liquefied gas; liquid with boiling point higher than temperature of surrounding media; burst; spill; fire; explosion; blast wave; thermal emission; lethal zone; probability of death.

REFERENCES

1. Bulanenkov S. A., Voronov S. I., Gubchenko G. P. et al. *Zashchita naseleniya i territoriy ot chrezvychaynykh situatsiy* [Protection of population and territories from emergency situations]. Kaluga, Regional Publ., 2001. 480 p.
2. *Standards of Fire Safety 5–2005. Categorizing of rooms, buildings and outdoor equipment according to explosive and fire dangers*. Minsk, 2006, 42 p. (in Russian).
3. Kotov S. G., Saechnikov V. A., Kotov D. S., Verkhoturva E. V. Baza dannykh dlya rascheta zon porazheniya pri pozharakh i vzryvakh silnodeystvuyushchikh yadovitykh veshchestv [Database for calculations the lethal area after fires and explosion of highly toxic substances]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 11, pp. 27–34.
4. Kotov D. S. *Razrabotka metodov i algoritmov prognozirovaniya tekhnogennykh chrezvychaynykh situatsiy dlya ekspertnykh sistem na osnove GIS-tekhnologiy: avtoref. diss. kand. tekhn. nauk* [Development of methods and algorithms of prognostication of technogenic emergency situations for expert systems on the base of GIS-technologies. Abstract tech. sci. diss.]. Minsk, 2012. 22 p.
5. Shebeko Yu. N., Gordienko D. M., Deshevyykh Yu. I., Kirillov D. S. Ekspress-metody opredeleniya uslovnoy veroyatnosti porazheniya cheloveka teplovym izlucheniym pri pozharakh na naruzhnykh tekhnologicheskikh ustanovkakh [Express methods to define conditional probability of human damage by thermal emission during fires at outdoor technological equipment]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2006, no. 5, pp. 73–79.
6. Curve fitting function. Available at: <http://www.originlab.com/pdfs/curvefittingfunctions.pdf> (Accessed 6 March 2012).
7. Algoritm Levenberga–Markvardta [Levenberg-Marquardt algorithm]. Available at: <http://www.machine-learning.ru/wiki/index.php> (Accessed 6 March 2012).



Россия, 140730, г. Рошаль,
ул. Косякова, д. 13
Тел.: +7 (499) 343-74-54.
Телефакс: +7 (499) 343-74-54
info@roshal-group.com
www.roshal-group.com



Продукция компании Roshal Group — первое звено прочной брони

Огнезащита — одна из самых сложных и вместе с тем одна из самых востребованных отраслей в мире пожарной безопасности. Производители огнезащитных материалов постоянно расширяют свой научно-производственный потенциал, стремясь создать оптимальную по своим характеристикам продукцию. У каждой фирмы своя специфика производства и свои ноу-хау, поэтому специалисты, работающие в этой области, как никто другой, понимают, насколько сложно найти по-настоящему качественное сырье, удовлетворяющее всем особенностям технологического процесса производства огнезащитных составов. Многие обращаются к опыту зарубежных коллег по цеху, однако качественное импортное сырье зачастую стоит очень дорого.

Так есть ли решение, позволяющее найти компромисс между уникальными технологиями, ценой и качеством материалов для производства огнезащитных составов?

Roshal Group — успешный проект локализации европейских технологий, а выпускаемая под этим брендом продукция является достойным ответом зарубежным аналогам.

Roshal Group — первый российский производитель специальных и мелкодисперсных химических продуктов для различных отраслей и областей промышленности, успешно зарекомендовавший себя на рынке сырья для производства огнезащитных материалов. **Roshal Group** — крупный производитель антипиренов для огнезащитных составов с долей присутствия на рынке более 30 %!

Приобретенный **Roshal Group** многолетний опыт производства *микронизированной продукции* позволил создать специальную серию материалов для производства огнезащитных составов и покрытий, включающую в себя следующие микронизированные продукты:

- **Пентаэритрит серии RN-P** — при воздействии температур свыше 250 °C обеспечивает образование плотной карбоновой корки, обладающей низкой теплопроводностью, что в значительной степени снижает термическое воздействие на защищаемый материал.
- **Меламин серии RN-M** — обеспечивает вспенивание защитного покрытия при горении за счет выделения газов, которые образуются при разложении меламин-а при повышенной температуре.
- **Полифосфат аммония серии RN-A** — негалогенизированный, экологически безопасный неорганический антипирен с низкой растворимостью в воде, который под воздействием высокой температуры разлагается с выделением негорючего газа и полифосфорной

кислоты, действующей как катализатор в реакции пеообразования при отделении свободного углерода в материале.

- **Связующее серии RN-S** — основа интумесцентных составов как на водной, так и на органической основе. Характеризуется сверхвысокой совместимостью с антипиренами и другими компонентами огнезащитных покрытий; обладает стабильностью таких параметров, как вязкость, адгезия и укрывистость.

Комбинации из отдельно взятых продуктов **ROSHAL Nano** представляют собой систему химических компонентов, в полном объеме отвечающую клиентским требованиям, что позволяет учитывать уникальность каждой рецептуры огнезащитного состава.

Наличие собственной лаборатории для проверки качества выпускаемых материалов позволяет стабилизировать свойства продукции от партии к партии.

Работа с **Roshal Group** — это:

- Возможность работы напрямую с производителем, без посредников
- Кратчайшее время от заказа до отгрузки даже больших партий сырья
- Контроль качества в соответствии с системой ИСО 9001
- Комплексные поставки больших и малых партий продукции

Одним из главных преимуществ сотрудничества с **Roshal Group** является всесторонняя поддержка клиентов в любых вопросах — от совместных исследований и разработки новых рецептов до последующей технической поддержки.

Roshal Group — высокий стандарт безопасности!

ВЫСТАВКИ ТЕХНОЛОГИЙ НАЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ



СибБезопасность

Международная выставка «Охрана и пожарная безопасность»

Антитеррор: комплексная безопасность

Конференция-выставка

25 – 27 сентября 2013 года

Россия, Новосибирск



ITE Сибирская Ярмарка
Телефон: (383) 363-00-63, 363-00-36
sips@sibfair.ru

Место проведения
«Новосибирск Экспоцентр»

Получите электронный билет на сайте
www.sips-siberia.ru

РЕКЛАМА

Стратегический
информационный партнер



Генеральный
информационный партнер



Генеральный
Интернет-партнер



При поддержке:



Правительство
Новосибирской области



Мэрия города
Новосибирска



Сибирский
региональный центр
МЧС России



Главное управление
МЧС России по
Новосибирской области



Управление Федеральной
службы безопасности
по Новосибирской области



Главное Управление
МВД России по
Новосибирской области



Управление на транспорте
МВД России по Сибирскому
Федеральному округу



Сибирское территориальное
управление Федерального
агентства железнодорожного
транспорта



УАИ НОТБ СФО
Ространснадзор

В. М. РОЙТМАН, д-р техн. наук, профессор кафедры комплексной безопасности в строительстве Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: roytman-msuse@yandex.ru)

УДК 699.81

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОГНЕСТОЙКОСТИ КОНСТРУКЦИЙ И ЗДАНИЙ ПРИ КОМБИНИРОВАННЫХ ОСОБЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ С УЧАСТИЕМ ПОЖАРА

Рассмотрены понятия о комбинированных особых воздействиях (СНЕ) с участием пожара и виды СНЕ. Дан анализ дополнительных опасностей и угроз для людей, зданий и сооружений при воздействии этого типа. Отмечено, что концепция комплексной безопасности является научно-методической основой проектирования огнестойкости зданий и сооружений для случая СНЕ с участием пожара. Рассмотрены общие подходы к проектированию огнестойкости конструкций и зданий для случая СНЕ с участием пожара. Показана необходимость внесения дополнений и уточнений в нормы, относящиеся к проектированию огнестойкости объектов, которые учитывали бы дополнительные опасности угрозы СНЕ с участием пожара и соответствующие особенности проектирования огнестойкости зданий и сооружений в этих условиях.

Ключевые слова: опасность; угроза; пожар; комбинированные особые воздействия с участием пожара; огнестойкость; конструкция; здание; проектирование.

Введение

Огнестойкость конструкций и зданий — это важный и необходимый элемент системы противопожарной защиты объектов [1–3]. Являясь базовым элементом этой системы, он фактически обеспечивает так называемую “первоочередную безопасность” объекта.

Трагические события 11 сентября 2001 г., связанные с атакой террористами высотных зданий Всемирного торгового центра (ВТЦ) и здания Пентагона, поставили перед человечеством ряд политических, социальных и технических проблем [4–9]. Среди технических проблем одно из основных мест занимает проблема защиты уникальных объектов от новых, дополнительных опасностей и угроз, связанных с комбинированными особыми воздействиями (СНЕ — от англ. *combined hazardous effect* [4, 6, 7, 9]) на здания и сооружения.

Проблема обеспечения огнестойкости зданий и сооружений в этих условиях с учетом террористической угрозы является весьма актуальной во всем мире, так как строительный комплекс — это один из самых уязвимых типов объектов для такого рода воздействий.

Изучение этой проблемы, разработка методов и средств для ее решения являются в настоящее время составной частью современного инновационного развития техники строительства в научном, прикладном и образовательном аспектах [10–12].

1. Понятие о комбинированных особых воздействиях с участием пожара

Комбинации рабочих (эксплуатационных) нагрузок и форс-мажорных дополнительных воздействий на строительные объекты во время чрезвычайных ситуаций предлагается называть *комбинированными воздействиями* [4, 6, 7, 9]. В этих же работах сформулированы определения основных понятий.

Комбинированные особые воздействия с участием пожара — чрезвычайные ситуации, связанные с возникновением и развитием нескольких видов особых воздействий на объект в различных сочетаниях и последовательности, одним из которых является пожар.

Например, во время террористической атаки на высотные башни Всемирного торгового центра (ВТЦ) в Нью-Йорке 11 сентября 2001 г. имели место комбинированные особые воздействия типа *удар – взрыв – пожар* (*combined hazardous effect of the impact – explosion – fire type* (СНЕ IEF)) для башен ВТЦ-1 и ВТЦ-2 или типа *удар – пожар – взрыв – пожар* (*combined hazardous effect of the impact – fire – explosion – fire type* (СНЕ IFEF)) для здания ВТЦ-7. При других ЧС возможны иные сочетания комбинированных особых воздействий, например типа *взрыв – удар – пожар*, как это произошло при аварии на Чернобыльской АЭС, или *удар – пожар* и т. д.

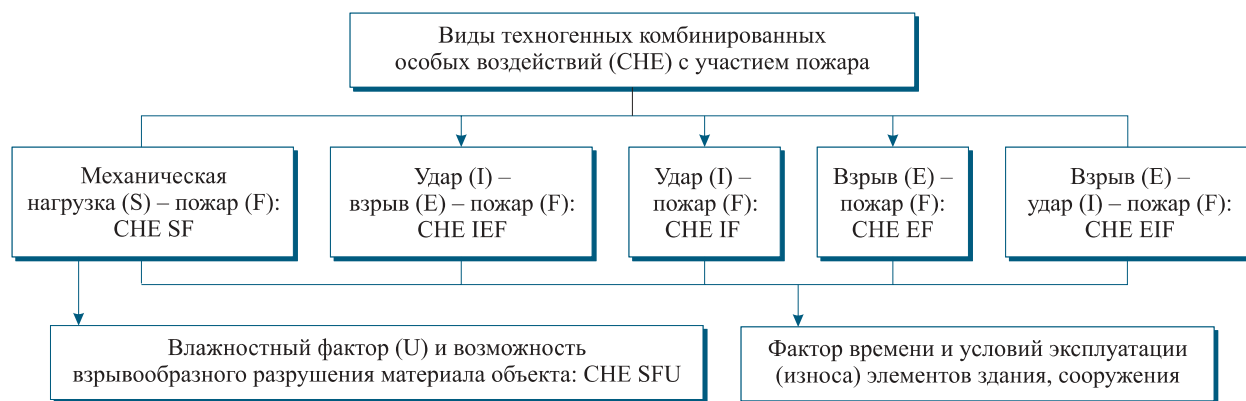


Рис. 1. Блок-схема видов комбинированных особых воздействий с участием пожара

На рис. 1 представлена блок-схема возможных вариантов комбинированных особых воздействий с участием пожара.

Необходимо иметь в виду, что каждый из вариантов СНЕ сопровождается возникновением дополнительных опасностей и угроз для зданий и сооружений.

2. Дополнительные опасности и угрозы, возникающие при СНЕ с участием пожара

2.1. Опасность взрывообразного разрушения железобетонных конструкций при воздействии типа СНЕ SFU

Явление взрывообразного разрушения материалов конструкций наблюдается при интенсивном прогреве влажных конструкций капиллярно-пористого строения в условиях пожара и испытаний на огнестойкость, сушке и первом разогреве тепловых агрегатов [3].

Это явление выглядит следующим образом (рис. 2): уже на 9–15-й минутах огневого воздействия от обогреваемых поверхностей конструкций с сильными звуковыми эффектами (хлопки, треск)

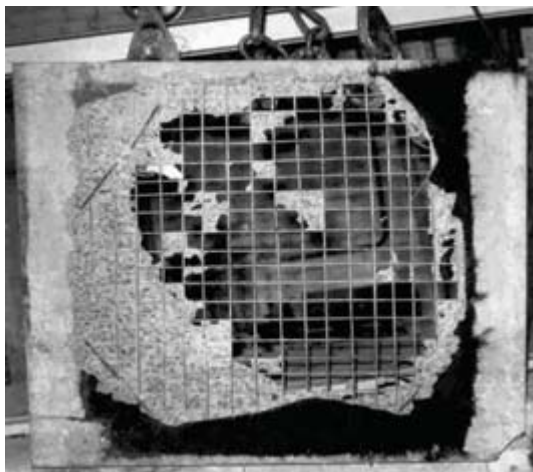


Рис. 2. Взрывообразное разрушение бетона железобетонной панели при проведении стандартных огневых испытаний на огнестойкость

начинают отлетать куски бетона на расстояние до 10–15 м. Это приводит к быстрому уменьшению рабочего сечения конструкции, разрушению защитного слоя бетона, оголению рабочей арматуры конструкции, возникновению сквозных трещин и отверстий, резкому снижению предела огнестойкости всей конструкции, повышению риска быстрого наступления прогрессирующего обрушения всего объекта в целом.

Возникновение и развитие этого явления в условиях пожара представляет серьезную опасность для строительных конструкций и зданий в целом и требует разработки специальных мер для обеспечения стойкости конструкций против взрывообразного разрушения при пожаре [3].

2.2. Опасность комбинированных особых воздействий с участием пожара типа СНЕ IEF для зданий и сооружений

Результаты исследований инженерных аспектов событий 11 сентября 2001 г. [2–5] дают представление о том, что при комбинированных особых воздействиях с участием пожара типа *удар – взрыв – пожар* (СНЕ IEF) имеют место следующие характерные особенности:

- возникает несколько групп конструкций, имеющих различную степень повреждения;
- вследствие различной степени повреждения эти группы конструкций утрачивают свою несущую способность при пожаре не одновременно, а в различные моменты развития СНЕ, т. е. на различных стадиях СНЕ;
- в результате на различных стадиях развития СНЕ, по мере последовательного выхода из строя более поврежденных групп несущих конструкций, нагрузка на оставшиеся конструкции возрастает;
- повышение нагрузки на уцелевшие строительные конструкции на соответствующих стадиях развития СНЕ с участием пожара приводит к снижению критической температуры нагрева конструкций;
- снижение критической температуры нагрева материалов конструкций при СНЕ вызывает резкое



Рис. 3. Наружное кольцо здания Пентагона в зоне СНЕ IEF во время событий 11 сентября 2001 г. до прогрессирующего обрушения (а) и после него (б)

снижение огнестойкости конструкций в этих условиях и представляет новую, требующую учета, дополнительную опасность для зданий и сооружений.

Критической температурой нагрева материала конструкции при пожаре называется такая температура, при которой материал утрачивает способность сопротивляться воздействию пожара [1–3].

Особая опасность этого эффекта для зданий определяется очевидным соображением о том, что чем больше механическая нагрузка на конструкцию, тем меньше критическая температура прогрева конструкций, тем быстрее они утрачивают свою несущую способность в условиях СНЕ с участием пожара и тем быстрее наступает потеря устойчивости (прогрессирующее обрушение) здания в целом.

Огнестойкость Северной башни Всемирного торгового центра (ВТЦ-1) при СНЕ IEF составила 102 мин, башни ВТЦ-2 — 56 мин; наружного кольца здания Пентагона — всего 19 мин (рис. 3) [8].

Дополнительная опасность СНЕ с участием пожара в виде эффекта снижения критической температуры нагрева материалов конструкций при СНЕ требует специального изучения и учета.

2.3. Дополнительные опасности комбинированных особых воздействий с участием пожара типа СНЕ IEF непосредственно для людей в зданиях и сооружениях

Прецеденты, связанные с комбинированными особыми воздействиями на особо сложные и уникальные объекты, свидетельствуют о том, что в этих условиях возникает необходимость учета новых опасностей и угроз не только для здания в целом, но и для обеспечения безопасности людей [10–12].

Можно выделить следующие дополнительные опасности и угрозы СНЕ с участием пожара с точки зрения обеспечения безопасности людей в зданиях и сооружениях [12]:

1. Меньшее значение времени обеспечения безопасности людей на строительных объектах при СНЕ

с участием пожара из-за более низких значений огнестойкости объекта по сравнению с воздействием только пожара.

2. Возникновение внутри здания нескольких зон, характеризующихся различным уровнем опасности для людей [12]:

а) зоны критической (смертельной) опасности, в которой уровень опасных факторов СНЕ смертелен для человека. Возможность эвакуации и спасения людей в этой зоне отсутствует;

б) зоны предкритической опасности, в которой люди подвергаются *прямому* воздействию опасных факторов СНЕ с участием пожара, но значения этих факторов в течение некоторого времени не достигают критического уровня. В этой зоне речь может идти о спасении людей только в течение некоторого периода времени;

в) зоны возможного воздействия на людей опасных факторов СНЕ с участием пожара, в которой люди в течение какого-то времени не подвергаются, но затем могут подвергнуться воздействию опасных факторов СНЕ с участием пожара. В этой зоне возможна организация эвакуации людей;

г) вторичных опасных зон, возникающих в процессе развития СНЕ с участием пожара (зоны падающих обломков и т. п.).

Перечисленные выше дополнительные опасности СНЕ с участием пожара непосредственно для людей требуют использования принципиально новых подходов к обеспечению безопасности людей в здании при СНЕ с участием пожара, в том числе при оценках пожарного риска [12].

Процесс обеспечения безопасности людей в здании при СНЕ с участием пожара должен представлять собой комбинированный процесс, включающий несколько этапов *движения* людей типа *эвакуация – спасение – эвакуация* в зависимости от времени СНЕ и местоположения человека относительно той или иной опасной зоны в здании.

Такого рода зоны, характеризующиеся различным уровнем опасности для людей, и комбинированный многоэтапный процесс движения людей из этих зон для обеспечения их безопасности имели место во время событий 11 сентября 2001 г. в башнях Всемирного торгового центра в Нью-Йорке [12].

2.4. Фактор условий и времени эксплуатации (износа) конструкций зданий и сооружений как дополнительная опасность СНЕ с участием пожара

В настоящее время проектирование огнестойкости зданий производится на основе справочных данных по огнестойкости основных конструкций здания, полученных в результате стандартных огне-вых испытаний этих конструкций, как правило, до начала их эксплуатации.

Во время эксплуатации зданий и сооружений происходит постепенная утрата конструкциями своих эксплуатационных качеств, в том числе определенной доли их огнестойкости [3].

Возникает еще один вид *дополнительной опасности* СНЕ с участием пожара, при которой реальное состояние и износ элементов зданий и сооружений за время эксплуатации могут снизить огнестойкость объекта до уровня, не обеспечивающего безопасность объекта, и привести к его преждевременному прогрессирующему обрушению (рис. 4).



Рис. 4. Прогрессирующее обрушение конструкций во время пожара в здании, которое эксплуатировалось долгое время

3. Проектирование огнестойкости конструкций и зданий для случая СНЕ с участием пожара

3.1. Концепция комплексной безопасности как научно-методическая основа проектирования огнестойкости зданий и сооружений для случая СНЕ с участием пожара

Огромный объем информации, накопленный современной наукой в области безопасности жизнедеятельности, углубление и расширение знаний, раз-

витие новых научных направлений приводят к тому, что задачи обеспечения безопасности объектов строительства на протяжении всего жизненного цикла их существования стали носить ярко выраженный *комплексный* характер [10–11].

При решении такого рода комплексных задач специалисты испытывают определенные трудности. В связи с этим появилась необходимость выработки и теоретической систематизации знаний в этой сфере, что привело к возникновению, развитию и становлению общей теории обеспечения безопасности строительства, которую уместно позиционировать как научные основы *комплексной безопасности строительства* [10].

Комплексная безопасность — это состояние объекта, при котором системы мер по предотвращению и защите от каждого из возможных видов опасных воздействий и организационно-технические мероприятия соответствуют требованиям нормативных документов (в том числе с учетом возможного комбинированного характера опасных воздействий).

Важным достоинством теории комплексной безопасности строительства является возможность учета новых опасностей и угроз для строительных объектов.

Прогрессирующее обрушение зданий и сооружений относится к самым тяжелым чрезвычайным ситуациям, приводящим к тяжелым человеческим жертвам и огромному материальному ущербу.

Особо актуальным становится необходимость оценки устойчивости объектов по отношению к прогрессирующему обрушению при проектировании защиты уникальных объектов для случая возникновения комбинированных особых воздействий с участием пожара, в том числе террористической угрозы [10–12].

3.2. Общий подход к проектированию огнестойкости конструкций для случая СНЕ с участием пожара

В основу предлагаемого общего подхода к проектированию огнестойкости зданий при СНЕ с участием пожара положена общность методических и физических принципов, лежащих в основе представлений о *долговечности, огнестойкости, стойкости* объектов [1–3]. Это позволило использовать положения теории огнестойкости (времени сопротивления) конструкций и зданий при воздействии только пожара для решения более широкого класса задач, связанных с комбинированными особыми воздействиями на конструкции и здания.

Суть предлагаемого подхода к проектированию огнестойкости конструкций и зданий при СНЕ заключается в расчете изменения во времени несущей способности структурных элементов объекта и нагрузок на них при заданном сценарии СНЕ с уче-

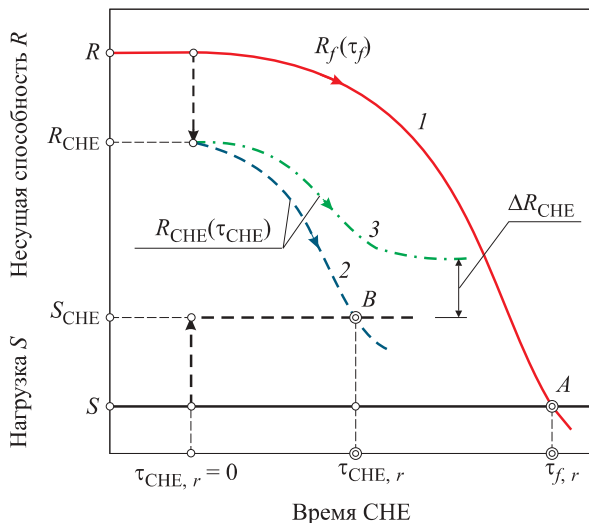


Рис. 5. Общая схема оценки огнестойкости строительных конструкций при комбинированных особых воздействиях (СНЕ) с участием пожара: 1 — только пожара; 2 — СНЕ с участием пожара; 3 — СНЕ с участием пожара, когда сохраняется некоторый остаточный резерв несущей способности конструкции ($\Delta R_{\text{СНЕ}}$)

том особенностей поведения материалов конструкций в рассматриваемых условиях (рис. 5).

Огнестойкость строительной конструкции при пожаре в условиях СНЕ определяется временем $\tau_{\text{СНЕ}}$ от начала пожара при СНЕ до момента, когда несущей способности конструкции $R_{\text{СНЕ}}(\tau_{\text{СНЕ}})$ становится недостаточно для восприятия нагрузки $S_{\text{СНЕ}}$, возникающей на различных стадиях СНЕ.

Огнестойкость конструкции при пожаре в условиях СНЕ $\tau_{\text{СНЕ},r}$ определяется из выражения

$$\text{если } R_{\text{СНЕ}}(\tau_{\text{СНЕ}}) \leq S(\tau_{\text{СНЕ}}), \text{ то } \tau_{\text{СНЕ}} = \tau_{\text{СНЕ},r}. \quad (1)$$

Для случая, когда не достигается полное истощение несущей способности конструкции $R_{\text{СНЕ}}$ при СНЕ IEF, сохраняется некоторый остаточный резерв ее несущей способности ($\Delta R_{\text{СНЕ}}$) (кривая 3 на рис. 5).

3.3. Общий подход к проектированию огнестойкости зданий при СНЕ с участием пожара

Суть предлагаемого подхода к оценке огнестойкости зданий при пожаре в условиях СНЕ заключается в расчете изменения несущей способности характерных групп структурных элементов объекта и нагрузок на них на различных стадиях заданного сценария СНЕ с участием пожара с учетом особенностей поведения материалов конструкций в рассматриваемых условиях [1–2].

Все структурные элементы рассматриваемого здания разбиваются на несколько характерных групп в зависимости от их состояния в условиях СНЕ и способности сопротивляться СНЕ.

С учетом различной несущей способности характерных групп структурных элементов при СНЕ процесс истощения огнестойкости здания при заданном сценарии СНЕ с участием пожара будет происходить “постепенно”, по мере последовательной утраты несущей способности различными характерными группами структурных элементов объекта.

Утрата несущей способности определенной характерной группой структурных элементов здания на той или иной расчетной стадии развития пожара в условиях СНЕ приводит к увеличению рабочих нагрузок на уцелевшие группы структурных элементов. Это, в свою очередь, вызывает ухудшение условий их работы (уменьшает запас прочности конструкции, снижает критическую температуру нагрева при пожаре и т. д.) и снижение их огнестойкости при пожаре в условиях СНЕ.

Наличие этих процессов обуславливает необходимость рассмотрения ряда расчетных стадий развития пожара в условиях СНЕ. Каждая из выделенных расчетных стадий развития пожара при СНЕ будет соответствовать утрате несущей способности при пожаре в условиях СНЕ определенной характерной группой структурных элементов.

Источники СНЕ могут иметь весьма широкий диапазон видов опасных воздействий, что, соответственно, приводит к необходимости при решении практических задач рассматривать большое количество сценариев СНЕ.

В связи с этим все многообразие воздействий СНЕ на здание в ряде случаев целесообразно выражать через последствия этих воздействий на состояние структурных элементов здания, которые определяют его устойчивость против прогрессирующего разрушения [2–5].

Огнестойкость здания при пожаре в условиях СНЕ $D_{\text{СНЕ},r}$ — время, в течение которого здание в целом сопротивляется воздействию опасных факторов пожара при СНЕ без потери общей устойчивости и геометрической неизменяемости.

Огнестойкость здания определяется огнестойкостью его основных конструкций при пожаре в условиях СНЕ. Здание в целом истощает свою огнестойкость $D_{\text{СНЕ},r}$ при пожаре в условиях СНЕ, если все характерные группы “ключевых” конструктивных элементов здания истощают свою огнестойкость (достигнут своего предельного состояния по потере несущей способности) на какой-либо из расчетных стадий развития пожара в условиях СНЕ.

Время $\tau_{\text{СНЕ}}$, когда это произойдет, и будет определять фактическую огнестойкость здания $D_{\text{СНЕ},r}^{\text{act}}$ для выбранного сценария СНЕ с участием пожара. Значение огнестойкости здания в этих условиях также может быть определено из соотношения:

если для всех “ключевых” элементов

$$\tau_{\text{СНЕ}} > \tau_{\text{СНЕ}, r}, \text{ то } \tau_{\text{СНЕ}} = D_{\text{СНЕ}, r}. \quad (2)$$

С учетом вышеизложенного *прогрессирующее обрушение объекта* при пожаре в условиях СНЕ — это последняя лавинообразная стадия развивающегося во времени процесса последовательного истощения огнестойкости структурными элементами объекта при пожаре в условиях СНЕ, что приводит к потере устойчивости объекта в целом.

Здание сохранит определенную долю ресурса огнестойкости (устойчивости) и не будет полностью разрушено при заданном сценарии СНЕ с участием пожара, если отдельные группы структурных элементов здания не истощают своей огнестойкости (не достигнут предельного состояния по потере несущей способности) после рассмотрения всех расчетных стадий развития пожара в условиях СНЕ. В этом случае здание сохранит свою устойчивость, но получит повреждения различной степени.

Возможность сохранения зданием своей устойчивости при заданном сценарии СНЕ с участием пожара определяется из условия:

если для всех “ключевых” элементов

$$\tau_{\text{СНЕ}} < \tau_{\text{СНЕ}, r}, \text{ то } \tau_{\text{СНЕ}} < D_{\text{СНЕ}, r}. \quad (3)$$

Данный подход может быть использован для решения двух типов задач:

- I типа (прямая задача) — оценка огнестойкости здания при пожаре в условиях СНЕ;
- II типа (обратная задача) — определение допустимого числа структурных элементов здания, которые могут быть разрушены или повреждены при пожаре в условиях СНЕ, исходя из заданной (нормируемой) огнестойкости здания $D_{\text{СНЕ}, r}^{\text{req}}$.

Предлагаемый подход дает возможность детализации любого уровня исходной модели здания или сооружения и расчетного сценария развития

комбинированных особых воздействий с участием пожара.

На основании вышеизложенного общего подхода был разработан [2–5] ряд методов оценки огнестойкости конструкций и зданий при СНЕ с участием пожара и программная система для анализа опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в системе городской застройки [9].

Заключение

1. Комбинированные особые воздействия (СНЕ) с участием пожара являются источником дополнительных опасностей и угроз для людей, зданий и сооружений. В связи с этим возникает необходимость специального учета этих дополнительных опасностей и угроз и, соответственно, разработки специальных мер защиты от них.

2. Обеспечение огнестойкости зданий и сооружений при СНЕ с участием пожара является необходимой мерой защиты объектов в этих условиях и необходимым элементом их системы противопожарной защиты.

3. Выявлены существенные отличия проектирования огнестойкости зданий и сооружений при СНЕ с участием пожара от решения традиционных (классических) задач проектирования огнестойкости объектов при воздействии только пожара.

4. Предлагаются общий подход и методы проектирования огнестойкости конструкций и зданий при СНЕ с участием пожара.

5. Возникает необходимость внесения дополнений и уточнений в нормы, относящиеся к проектированию огнестойкости объектов, которые учитывали бы дополнительные опасности угрозы СНЕ с участием пожара и соответствующие особенности проектирования огнестойкости зданий и сооружений в этих условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pettersson O. Practical Need of Scientific Models for Structural Fire Design. General Review // Fire Safety Journal. — 1988. — No. 13. — P. 1–8.
2. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. First Edition (Справочник по технике противопожарной защиты. 1-е изд.). — NFPA/SFPE, USA, Quincy MA, 1988.
3. Ройтман В. М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий. — М.: Пожнаука, 2001. — 382 с.
4. Забегаев А. В., Ройтман В. М. Анализ стойкости башен Всемирного торгового центра против комбинированных особых воздействий типа “удар – взрыв – пожар” при атаке террористов 11 сентября 2001 г. // Пожаровзрывобезопасность. — 2001. — Т. 10, № 6. — С. 54–59.
5. World Trade Center Building Performance Study: Data Collection, Preliminary Observations, and Recommendations. — New York, Federal Emergency Management Agency (FEMA), 403/May 2002.
6. Pasman H. J., Kirillov I. A., Roytman V. M. et al. Hazards and Risk Analysis for Aircraft Collision with High-Rise Building: NWO project 047.011.2001.035, TNO, Netherlands.

7. Roytman V. M., Pasman H. J., Lukashevich I. E. The concept of evaluation of building resistance against combined hazardous effects “impact – explosion – fire” after aircraft crash // Fire and Explosion Hazards : Proceedings of the Fourth International Seminar. — Londonderry, NI, UK, 2003. — P. 283–293.
8. Paul F. Mlakar, Donald D. Dusenberry, James R. Harris, Gerald Haynes, Long T. Phan, Mete A. Sozen. The Pentagon building performance in the 9/11 crash // Resilience of Cities to Terrorist and other Threats: Learning from 9/11 and further Research Issues. Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Urban Structures Resilience under Multi-Hazard Threats. Lessons of 9/11 and Research Issues for Future Work. Russia, Moscow, 16 July – 18 July 2007. — Springer, 2008. — P. 113–134.
9. Roytman V. M., Lukashevich I. E. Engineering method for prompt assessment of structural resistance against combined hazard effects // Resilience of Cities to Terrorist and other Threats: Learning from 9/11 and further Research Issues. Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Urban Structures Resilience under Multi-Hazard Threats: Lessons of 9/11 and Research Issues for Future Work. Russia, Moscow, 16 July – 18 July 2007. — Springer, 2008. — P. 239–256.
10. Теличенко В. И., Ройтман В. М. Становление научных основ комплексной безопасности строительства // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. — 2011. — № 6. — С. 28–30.
11. Теличенко В. И., Ройтман В. М. Обеспечение стойкости зданий и сооружений при комбинированных особых воздействиях с участием пожара — базовый элемент системы комплексной безопасности // Предотвращение аварий зданий и сооружений: сб. науч. тр. Вып. 9. — М. : Вельд, 2010. — С. 15–29.
12. Ройтман В. М. Особенности обеспечения безопасности людей в зданиях и сооружениях при комбинированных особых воздействиях с участием пожара // Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании : сб. тр. Междунар. науч. конф., Москва, 19–21 октября 2011 г. — В 2 т. — М. : МГСУ, 2011. — Т. 1. — С. 453–456.

Материал поступил в редакцию 29 мая 2013 г.

English

FEATURES OF DESIGNING OF CONSTRUCTIONS AND BUILDINGS FIRE RESISTANCE IN CONDITIONS OF COMBINED HAZARDOUS EFFECTS ACCOMPANIED BY FIRE

ROYTMAN V. M., Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail address: roytman-msuse@yandex.ru)

ABSTRACT

Concepts of combined hazardous effects (CHE) accompanied by fire and their types are considered. The analysis of additional hazards and dangers for people, buildings and constructions in conditions of CHE accompanied by fire is given. It is noted that the conception of complex safety is the scientific and methodical basis of designing of buildings and constructions fire resistance for CHE cases accompanied by fire. General approaches to designing of constructions and buildings fire resistance for CHE cases accompanied by fire are considered. The necessity to give a more precise definition and additions to norms, relating to fire resistance designing of objects, which would consider an additional danger of CHE accompanied by fire and corresponding features of designing of objects fire resistance in such conditions is shown.

Keywords: hazard; danger; fire; combined hazardous effects accompanied by fire; fire resistance; construction; building; designing.

REFERENCES

1. Pettersson O., Practical Need of Scientific Models for Structural Fire Design. General Review. *Fire Safety Journal*, 1988, no. 13, pp. 1–8.
2. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. First Edition*. NFPA-SFPE, USA, Quincy MA, 1988.
3. Roytman V. M. *Inzhenernyye resheniya po otsenke ognestoykosti proyektiruyemykh i rekonstruirovannykh zdaniy* [The engineering solutions for the evaluation of designed and rehabilitated buildings]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2001. 382 p.
4. Zabegaev A. V., Roytman V. M. Analiz stoykosti bashen Vsemirnogo torgovogo tsentra protiv kombinirovannykh osobykh vozdeystviy tipa “udar – vzryv – pozhar” pri atake terroristov 11 sentyabrya 2001 g. [The analysis of stability of the World trade center towers against the combined action such as “impact – explosion – fire” at attack of terrorists on 11 September 2001]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2001, vol. 10, no. 6, pp. 54–59.
5. *World Trade Center Building Performance Study : Data Collection, Preliminary Observations, and Recommendations*. New York, Federal Emergency Management Agency (FEMA), 403/May 2002.
6. Pasman H. J., Kirillov I. A., Roytman V. M. et al. *Hazards and Risk Analysis for Aircraft Collision with High-Rise Building*: NWO project 047.011.2001.035, TNO, Netherlands.
7. Roytman V. M., Pasman H. J., Lukashevich I. E. The concept of evaluation of building resistance against combined hazardous effects “impact – explosion – fire” after aircraft crash. *Fire and Explosion Hazards: Proceedings of the Fourth International Seminar*. Londonderry, NI, UK, 2003, pp. 283–293.
8. Paul F. Mlakar, Donald D. Dusenberry, James R. Harris, Gerald Haynes, Long T. Phan, Mete A. Sozen. The Pentagon building performance in the 9/11 crash. *Resilience of Cities to Terrorist and other Threats: Learning from 9/11 and further Research Issues. Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Urban Structures Resilience under Multi-Hazard Threats: Lessons of 9/11 and Research Issues for Future Work*. Russia, Moscow, 16 July – 18 July 2007. Springer, 2008, pp. 113–134.
9. Roytman V. M., Lukashevich I. E. Engineering Method for Prompt Assessment of Structural Resistance against Combined Hazard Effects. *Resilience of Cities to Terrorist and other Threats: Learning from 9/11 and further Research Issues. Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Urban Structures Resilience under Multi-Hazard Threats: Lessons of 9/11 and Research Issues for Future Work*. Russia, Moscow, 16 July – 18 July 2007. Springer, 2008, pp. 239–256.
10. Telichenko V. I., Roytman V. M. Stanovleniye nauchnykh osnov kompleksnoy bezopasnosti stroitelstva [Formation of scientific bases of complex safety of construction]. *Stroitelnyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI veka — Construction Materials, Equipment, Technologies of XXI Century*, 2011, no. 6, pp. 28–30.
11. Telichenko V. I., Roytman V. M. Obespecheniye stoykosti zdaniy i sooruzheniy pri kombinirovannykh osobykh vozdeystviyakh s uchastiyem pozhara — bazovyy element sistemy kompleksnoy bezopasnosti [Ensuring of buildings and constructions durability in conditions of combined hazardous effects accompanied by fire — basic element of the complex safety system]. *Predotvrashcheniye avariyn zdaniy i sooruzheniy: sb. nauch. tr. Vypusk 9* [Prevention of buildings and constructions damages: collection of scientific papers. Issue 9]. Moscow, Veld Publ., 2010, pp. 15–29.
12. Roytman V. M. Osobennosti obespecheniya bezopasnosti lyudey v zdaniyakh i sooruzheniyakh pri kombinirovannykh osobykh vozdeystviyakh s uchastiyem pozhara [Features of guaranteeing of people safety in buildings and constructions in conditions of combined hazardous effects accompanied by fire]. *Integratsiya, partnerstvo i innovatsii v stroitelnoy nauke i obrazovanii: sb. tr. Mezhdunar. nauch. konf., Moskva, 19–21 oktyabrya 2011 g.* [Integration, partnership and innovations in construction science and education: Collected works of International scientific conference (Moscow, 19–21 October, 2011)]. Moscow, Moscow State University of Civil Engineering Publ., 2011, vol. 1, pp. 453–456.

А. Ф. БРЮХАНЬ, канд. техн. наук, докторант кафедры "Инженерная геология и геоэкология" Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: pwww@land.ru)

Ф. Ф. БРЮХАНЬ, д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры комплексной безопасности в строительстве Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: pniiis-gip@mail.ru)

Д. А. КОРОЛЬЧЕНКО, канд. техн. наук, заведующий кафедрой комплексной безопасности в строительстве Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: kafedrapb@yandex.ru)

УДК 504.5:550.84

О КАТЕГОРИЯХ ГАЗОГЕОХИМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ НАСЫПНЫХ ГРУНТОВ

Показано, что производство строительных работ на насыпных грунтах связано с пожаровзрывоопасностью, обусловленной их способностью генерировать биогаз, состоящий из горючих компонентов. Предложено на участках намечаемого строительства в рамках инженерных изысканий предусматривать газогеохимические исследования грунтов и выявление степени их опасности. Дан анализ существующих критериев газогеохимической опасности грунтов и предложено их уточнение.

Ключевые слова: газогеохимия; экология; газогеохимическая опасность; пожаровзрывоопасность; насыпные грунты; инженерные изыскания.

Производство строительных работ на насыпных грунтах связано с пожаровзрывоопасностью, обусловленной их способностью генерировать биогаз, состоящий из горючих компонентов [1]. Он образуется при разложении органических веществ в процессе жизнедеятельности анаэробной микрофлоры в насыпных грунтах обычно на глубине свыше 2,0–2,5 м [2]. Основные компоненты биогаза — метан (до 55–65 % об.) и диоксид углерода (до 35–45 % об.) [3]. Биогаз содержит также тяжелые углеводороды, угарный газ, аммиак, оксиды азота, сероводород, молекулярный водород и другие компоненты. Таким образом, он обладает достаточно высокой токсичностью и представляет серьезную экологическую опасность, особенно вблизи территорий жилой застройки.

Исходя из очевидной пожаровзрывоопасности биогаза требованиями свода правил по инженерно-экологическим изысканиям [2] предусматриваются специальные газогеохимические исследования площадок намечаемого строительства на насыпных грунтах и определение степени их газогеохимической опасности. Такие исследования проводятся с целью разработки средств защиты зданий и сооружений от негативного воздействия биогаза и обеспечения благоприятных экологических условий. Они включают поверхностную газовую (эмиссионную) съемку с отбором проб грунтового воздуха и приземной атмосферы и последующие лаборатор-

ные анализы компонентного состава свободного грунтового воздуха, газовой фазы грунтов, растворенных газов и биогаза, диссипирующего в приземную атмосферу [2, 4].

Практическое использование рекомендаций [2] связано с определенными трудностями из-за некорректной трактовки категорий газогеохимической опасности насыпных грунтов. Так, в [2] прописано, что "потенциально опасными в газогеохимическом отношении считаются грунты с содержанием метана $>0,1\%$ и $\text{CO}_2 > 0,5\%$; в опасных грунтах содержание метана $>1,0\%$ и CO_2 до 10% ; пожаровзрывоопасные грунты содержат метана $>5,0\%$, при этом содержание CO_2 — $n \cdot 10\%$ "*. Абсурдность такой трактовки заключается в том, что с увеличением содержания углекислого газа, заведомо препятствующего возгоранию или взрыву, газогеохимическая опасность повышается. Другая неопределенность заключается в том, что в [2] не указывается, что означает величина n . Далее в этом документе вводится категория экологически опасных зон, в грунтах которых содержание CH_4 и CO_2 в биогазе превышает соответственно $1,0$ и 10% об. На основании приведенных категорий в [2] даются рекомендации по инженерной защите территорий строительства, находящихся на насыпных грунтах.

* Имеется в виду объемная доля.

Классификация грунтов по степени газогеохимической опасности [8]

Степень газогеохимической опасности грунтов	Объемная доля компонента, % об.			
	CH ₄	CO ₂	H ₂	O ₂
Безопасные	0,01–0,1	1,0–5,0	<0,1	>18,0
Потенциально опасные	0,1–1,0	1,0–5,0	<1,0	<18,0
Опасные	>1,0	>5,0	>1,0	<18,0
Пожаро- и взрывоопасные	>5,0	$n \times 10$	>4,0	<18,0

Кроме того, введенные в [2] критерии газогеохимической опасности грунтов перешли в другие нормативно-технические документы (например, [4]), а также использованы в ряде научных публикаций, посвященных газогеохимическим исследованиям [3, 5, 6].

В 2012 г. Национальным объединением изыскателей была разработана актуализированная редакция СНиП 11-02-96 [7]. В новом документе [8] имеется раздел “Инженерно-экологические изыскания”, заменяющий соответствующий свод правил [2]. В актуализированную редакцию СНиП 11-02-96 внесен ряд существенных корректировок, учитывающих изменения в нормативно-правовой и нормативно-технической базе в области инженерных изысканий в строительстве, в том числе относящихся к газогеохимическим исследованиям. В [8] приводится новая классификация категорий степени газогеохимической опасности грунтов (см. таблицу).

Данные таблицы показывают, что:

1) уровень пожаровзрывоопасности грунтов возрастает с увеличением концентрации метана и водорода, что является очевидным;

2) уровень пожаровзрывоопасности грунтов возрастает с увеличением концентрации углекислого газа, что представляется явным абсурдом;

3) уровень пожаровзрывоопасности грунтов является безопасным при концентрации кислорода, превышающей 18,0 % об., и потенциально опасным, опасным либо пожаровзрывоопасным при концентрации кислорода ниже 18,0 % об.

Кроме того, в таблице присутствует упомянутый выше коэффициент n неясного происхождения.

Данные обстоятельства указывают на необходимость уточнения категорий газогеохимической опасности

грунтов. При этом представляется целесообразным выделить их категории отдельно по пожаровзрывоопасности и экологической опасности.

В качестве критерия экологической опасности насыпных газогенерирующих грунтов естественно установить превышение концентрации хотя бы одного из компонентов биогаза по сравнению с соответствующим ПДК.

Что же касается пожаровзрывоопасности насыпных газогенерирующих грунтов, то необходимо привести следующие соображения. При проектировании и строительстве открытых сооружений опасные концентрации биогаза не возникают. Однако при строительстве на подобных грунтах зданий и сооружений с наличием замкнутых объемов в последних с течением времени возможно образование взрывоопасных концентраций метана. В связи с этим необходим соответствующий контроль за содержанием метана. Опасной концентрацией метана следует считать концентрацию 1,056 % об., что составляет 20 % от нижнего концентрационного предела распространения пламени метана (5,28 % об.), принятого из условий пожаровзрывоопасности [9].

Выводы

1. Выполнен анализ газогеохимической опасности насыпных газогенерирующих грунтов, установленных действующим сводом правил по инженерно-экологическим изысканиям и проектом актуализированной редакции СНиП 11-02-96.

2. Для оценки газогеохимической опасности насыпных газогенерирующих грунтов целесообразно выделить отдельные категории их пожаровзрывоопасности и экологической опасности.

3. Предложено считать грунты экологически опасными, если в них превышена концентрация хотя бы одного из компонентов биогаза по сравнению с соответствующим ПДК.

4. При строительстве на насыпных газогенерирующих грунтах зданий и сооружений с наличием замкнутых объемов в последних с течением времени могут возникать взрывоопасные концентрации метана. При этом опасной концентрацией метана следует считать концентрацию 1,056 % об., что составляет 20 % от нижнего концентрационного предела распространения пламени метана (5,28 % об.), принятого из условий пожаровзрывоопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бондарик Г. К., Ярз Л. А. Инженерно-геологические изыскания. — М. : Изд-во КДУ, 2011. — 420 с.
- СП 11-102-97. Инженерно-экологические изыскания для строительства : утв. Госкомэкологией России 25.02.97 г., письмо № 02-12/23-577; введ. 15.08.97 г. — М. : ПНИИИС Госстроя России, 1997. — 41 с.

3. Шустров Ю. Д., Можарова Н. В., Кулачкова С. А. Газогеохимические исследования на строительных объектах Московской области // Информ. вестник ГУ МО "Мособлгосэкспертиза". — 2008. — № 2 (22). — С. 22–28.
4. Инструкция по инженерно-геологическим и геоэкологическим изысканиям в г. Москве : утв. указанием Москомархитектуры от 11.03.2004 г. № 5; введ. 11.03.2004 г. — М. : ГУП "НИАЦ", 2004.
5. Бахронов Р. Р., Рожков С. В., Соловьева И. А., Елиин А. В. Изыскания в основании фундаментов сооружений на насыпных грунтах // Жилищное строительство. — 2006. — № 10. — С. 14–15.
6. Еремеев А. А., Косинова И. И. Сравнительная эколого-геологическая оценка Гавриловской, Белгородской и Острогожской площадки управления магистральных газопроводов (УМГ) // Материалы научной сессии Воронежского государственного университета, секция экологической геологии. — Воронеж : ИПФ "Воронеж", 2011. — С. 25–30.
7. СНиП 11-02-96. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения : постановление Минстроя России от 29.10.96 г. № 18-77; введ. 01.11.96 г. — М. : ПНИИИС Госстроя России, 1997. — 43 с.
8. СП 47.13330.2012. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения (актуализированная ред. СНиП 11-02-96) : приказ Госстроя России от 10.12.2012 г. № 83/ГС; введ. 01.07.2013 г. — М. : Госстрой России, 2012. — 110 с.
9. Корольченко А. Я. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник. — М. : Асс. "Пожнаука", 2000. — Ч. 1. — 709 с.; ч. 2. — 757 с.

Материал поступил в редакцию 3 мая 2013 г.

English

ABOUT THE CATEGORY OF GAS-GEOCHEMICAL DANGER OF BACKFILL

BRYUKHAN A. F., Candidate of Technical Sciences, Doctoral Student, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail address: pvvv@land.ru)

BRYUKHAN F. F., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail address: pniiis-gip@mail.ru)

KOROL'CHENKO D. A., Candidate of Technical Sciences, Head of Department of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail address: kafedrapb@yandex.ru)

ABSTRACT

Construction works on the backfill are connecting with the fire and explosion hazard due to their ability to generate biogas, consisting of combustible components. In addition, the biogas has a fairly high toxicity and represents a serious environmental hazard, especially near residential areas. Therefore, in areas within the planned construction engineering survey provides geochemical soil testing and determination the degree of hazard.

This paper analyzes the existing criteria of soil geochemical hazards and offers their clarification.

With regard to the fire and explosion hazard, the following considerations are given. In the design and construction of opened public constructions dangerous levels of the biogas are excluded. However, during the construction of enclosed volumes on such grounds the explosible concentrations of methane are possible. A dangerous concentration of methane should be considered a concentration of 1.056 % vol., which is 20 % of the lower flammability limits of methane (5.28 % vol.), adopted by the conditions of fire and explosion hazard. As a criterion of the environmental hazard of bulk gas-generating soils an excess of a concentration of at least one component of biogas compared to the corresponding MAC should be taken.

Keywords: gas-geochemistry; ecology; geochemical hazard; fire and explosion hazard; backfill; engineering survey.

REFERENCES

1. Bondarik G. K., Yarg L. A. *Inzhenerno-geologicheskiye izyskaniya* [Engineering Geological Surveying]. Moscow, KDU Publ., 2011. 420 p.
2. *Code of practice 11-102-97. Engineering environmental site investigations for construction*. Moscow, Production, Scientific and Research Institute of Engineering Surveys in Construction Publ., 1997. 41 p. (in Russian).
3. Shustrov Yu. D., Mozharova N. V., Kulachkova S. A. Gazogeokhimicheskiye issledovaniya na stroitelnykh ob'yektakh Moskovskoy oblasti [Gas-geochemical studies on construction projects of the Moscow region]. *Informatsionnyy vestnik GU MO "Mosoblgosekspertiza" — Information Bulletin of the "Mosoblgosekspertiza"*, 2008, no. 2 (22), pp. 22–28.
4. *Instructions for Engineering Geological and Engineering and Environmental Surveying in Moscow*. Approved by the Directive of the Moscow Committee for Architecture and Urban Planning on 11 March 2004, no. 5. Moscow, GUP "NIATs" Publ., 2004 (in Russian).
5. Bakhronov R. R., Rozhkov S. V., Solovyeva I. A., Elshin A. V. Izyskaniya v osnovanii fundamentov sooruzheniy na nasypnykh gruntakh [Engineering Surveying for the bases of constructions in the bulk soils] *Zhilishchnoye stroitelstvo — Residential construction*, 2006, no. 10, pp. 14–15.
6. Ereemeev A. A., Kosinova I. I. Sravnitel'naya ekologo-geologicheskaya otsenka Gavrilovskoy, Belgorodskoy i Ostrogozhskoy ploshchadki upravleniya magistralnykh gazoprovodov (UMG) [Comparative ecological and geological evaluation of the Gavrilovsk, Belgorod and Ostrogozhsk site of the of main gas pipelines controlling]. *Materialy nauchnoy sessii Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta, sektsiya ekologicheskoy geologii* [Proceedings of the scientific session of the Voronezh State University, Section of the Environmental Geology]. Voronezh, EPF Voronezh Publ., 2011, pp. 25–30.
7. *Construction Norms and Rules 11-02-96. Engineering Surveying for Construction Purposes. Basic Provisions*. Moscow, Production, Scientific and Research Institute of Engineering Surveys in Construction (PNIIS) Publ., 1997. 41 p. (in Russian).
8. *Code of practice 47.13330.2012. Engineering survey for construction. Basic principles* (Updated version of the SNiP 11-02-96). Moscow, Gosstroy Rossii Publ., 2012. 10 p. (in Russian).
9. Korol'chenko A. Ya. *Pozharovzryvoopasnost veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya: spravochnik* [Fire and explosive hazard of compounds and materials and their fire extinguishing means. Handbook]. Moscow, Association "Pozhnauka" Publ., 2000. 709 p. (part 1), 757 p. (part 2).



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

А. А. Антоненко, Т. А. Буцынская, А. Н. Членов.
ОСНОВЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ КОМПЛЕКСНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ : учебно-справочное пособие
 / Под общ. ред. д-ра техн. наук А. Н. Членова. —
 М. : ООО "Издательство "Пожнаука", 2010. — 210 с.



В учебно-справочном пособии изложены основы современного подхода к проблеме комплексного обеспечения безопасности объектов хозяйствования с помощью технических средств и систем; приведены сведения о технической эксплуатации комплексных систем безопасности, а также справочно-методическая информация для решения практических задач по эксплуатации. Дано основное содержание эксклюзивной разработки — ГОСТ Р 53704-2009 "Системы безопасности комплексные и интегрированные", входящего в отраслевой комплект нормативно-технической документации по данной проблеме.

Книга предназначена для практических работников в области систем безопасности и может быть использована как учебное пособие для подготовки и повышения квалификации специалистов соответствующего профиля.

121352, г. Москва, а/я 43; тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: mail@firepress.ru

Е. И. КАЙБИЧЕВА, специалист 1-го разряда, Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Свердловской области "Свердловскстат" (Россия, 620041, г. Екатеринбург, ул. Толмачева, 23)

И. А. КАЙБИЧЕВ, д-р физ.-мат. наук, профессор, Уральский институт Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: Kaibitchev@mail.ru)

УДК 519.25

ИНДЕКС МАТЕРИАЛЬНОГО УЩЕРБА ОТ ПОЖАРОВ В СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ЗА 2006–2010 ГОДЫ

Показано, что одной из проблем статистики пожаров является отсутствие индексов, показывающих обстановку с материальным ущербом от пожаров в сельской местности на территории Российской Федерации, аналогичных индексу Доу-Джонса, используемому в экономике и фондовом рынке для оценки их состояния. Выполнен расчет индекса материального ущерба от пожаров в сельской местности в Российской Федерации за 2006–2010 гг. на основе подхода Доу-Джонса. Выделены наиболее проблемные регионы и регионы с кризисной обстановкой.

Ключевые слова: статистика пожаров; индекс Доу-Джонса; материальный ущерб от пожаров; сельская местность.

Одной из проблем в области статистики пожаров является категорирование регионов по материальному ущербу от пожаров в сельской местности. Пожары являются одной из важных проблем техносферы, поскольку они приводят к разрушению объектов техносферы, наносят значительный материальный урон. Один из важных показателей пожарной опасности — это размер материального ущерба от пожаров в регионе РФ [1]. Этот показатель позволяет сравнить обстановку в регионах, а общий материальный ущерб на территории РФ [1] служит основой для количественной оценки ситуации с пожарами в целом. Полезность и необходимость данного показателя не вызывает сомнений. Вместе с тем на сегодняшний день затруднено выделение наиболее проблемных регионов, так как нет четкого критерия их определения.

Проблема определения наиболее проблемных регионов может быть решена с помощью метода Доу-Джонса [2–4], широко применяемого для оценки состояния экономики и финансового рынка. Первый индекс Доу-Джонса, рассчитанный 3 июля 1884 г., представлял собой среднюю цену 11 акций, большинство из которых являлись акциями первых крупных железнодорожных государственных корпораций. В 1916 г. промышленный индекс расширился до 20 акций, а в 1928 г. — до 30, каким и остается на сегодняшний день. Нью-Йоркская биржа (New York Stock Exchange) обновляет и публикует индекс Доу-Джонса каждые 30 минут в течение всего биржевого дня. Фондовый индекс может характеризовать как рынок в целом, так и отдельную отрасль экономики (промышленность, транспорт и т. д.).

Возможность использования индексов пожарной опасности, рассчитанных по методу Доу-Джонса, была показана в работах [5–9]. Методика расчета индексов пожарной опасности достаточно проста [5–9]. Субъекты РФ выступают в качестве аналога промышленных корпораций. На первом этапе субъекты РФ ранжируются по интересующему нас показателю в порядке убывания значения. Далее отбираются 30 субъектов РФ с максимальными значениями показателя. Они формируют листинг расчета индекса. Индекс пожарной опасности рассчитывается как среднее из показателей регионов, попавших в листинг. Отметим, что расчеты показывают тенденцию увеличения значения индекса материального ущерба в сельской местности за 2006–2010 гг. (см. рисунок).

В листинге (табл. 1) можно выделить критическую группу, для которой материальный ущерб превышает значение индекса. Состав этой группы

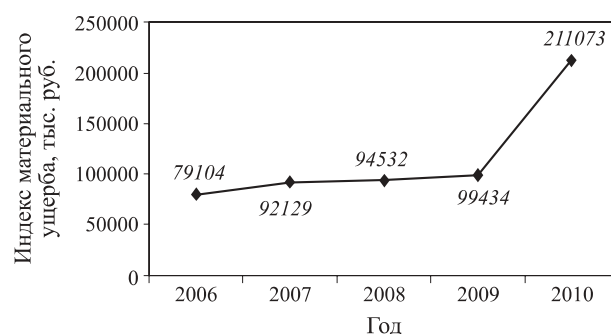


Рис. 1. Изменение индекса материального ущерба в сельской местности за 2006–2010 гг.

Таблица 1. Листинг расчета индекса материального ущерба от пожаров в сельской местности за 2006 г.

Место в листинге	Регион	Ущерб, тыс. руб.
1	Московская обл.	405501
2	Республика Мордовия	292242
3	Республика Марий Эл	191133
4	Ленинградская обл.	175163
5	Владимирская обл.	90172
6	Нижегородская обл.	86482
7	Красноярский кр.	78300
8	Республика Башкортостан	74748
9	Свердловская обл.	62684
10	Ярославская обл.	60417
11	Тверская обл.	54452
12	Рязанская обл.	52578
13	Челябинская обл.	50424
14	Краснодарский кр.	50100
15	Самарская обл.	47654
16	Республика Татарстан	46942
17	Вологодская обл.	46687
18	Архангельская обл.	44921
19	Новосибирская обл.	43188
20	Саратовская обл.	41382
21	Оренбургская обл.	40262
22	Новгородская обл.	40018
23	Ростовская обл.	39985
24	Удмуртская Республика	37746
25	Омская обл.	37670
26	Волгоградская обл.	37298
27	Республика Бурятия	36773
28	Иркутская обл.	36587
29	Кировская обл.	35810
30	Алтайский кр.	35789
Индекс материального ущерба		79104

изменчив. В критическую группу 2006 г. попали (см. табл. 1): **Московская обл., Республика Мордовия, Республика Марий Эл, Ленинградская, Владимирская и Нижегородская области.**

В 2007 г. список критических регионов был таков (табл. 2): **Московская обл., Чувашская Республика, Ленинградская обл., Ненецкий автономный округ, Нижегородская обл., Республика Башкортостан, Владимирская обл.**

Состав критической группы в 2008 г. (см. табл. 2): **Московская, Ленинградская, Нижегородская, Владимирская области, Республика Башкортостан, Свердловская, Челябинская области, Красноярский кр., Самарская и Рязанская области.**

В критическую группу 2009 г. попали регионы (см. табл. 2): **Московская, Ленинградская, Владимирская, Челябинская области, Республика Башкортостан, Республика Бурятия, Свердловская, Нижегородская, Рязанская области, Красноярский кр., Новосибирская обл.**

В 2010 г. критическая ситуация сложилась в регионах (см. табл. 2): **Калининградской, Московской областях, Алтайском кр., Ленинградской обл., Республике Коми.**

Целесообразность выделения в листинг 30 регионов подтверждается расчетом доли попавших в него субъектов в общем материальном ущербе от пожаров в сельской местности. В 2006 г. эта доля составила 74,51 %, в 2007 г. — 73,54 %, в 2008 г. — 70,91 %, в 2009 г. — 75,74 %, а в 2010 г. — 84,86 %. Поэтому выборка 30 субъектов РФ для формирования листинга расчета представляется достаточно репрезентативной.

Аналогичная ситуация возникает с выделением кризисной группы. В 2006 г. доля кризисных регионов в суммарном материальном ущербе от пожаров в сельской местности для субъектов РФ, попавших в листинг, составила 52,28 %, в 2007 г. — 51,99 %, в 2008 г. — 54,63 %, в 2009 г. — 61,27 %, в 2010 г. — 58,30 %. Кризисные регионы давали заметный вклад в суммарный материальный ущерб от пожаров в сельской местности по Российской Федерации: 38,95 % — в 2006 г., 38,23 % — в 2007 г., 38,73 % — в 2008 г., 46,41 % — в 2009 г., 49,47 % — в 2010 г.

Анализ мест регионов в листингах расчета индекса числа пожаров (см. табл. 2) показывает (табл. 3) наличие шести групп регионов, играющих разную роль. В первую группу входят регионы, которые за 2006–2010 гг. не попали в листинг ни разу. Вторая группа состоит из регионов, которые попали только 1 раз, третья — 2 раза, четвертая — 3 раза, пятая — 4 раза, шестая — 5 раз (т. е. регионы этой группы присутствовали в составе листинга в течение 5 лет).

Кроме того, можно определить частоту попадания региона в кризисную группу (табл. 4). При этом также выделено шесть групп регионов. Первую группу составляют регионы, ни разу не попавшие в состав кризисной группы; вторую — субъекты РФ, попавшие в эту группу 1 раз, третью — 2 раза, четвертую — 3 раза, пятую — 4 раза, шестую — 5 раз.

В Центральном федеральном округе в составе кризисных регионов постоянно присутствует **Московская обл.**; в Северо-Западном федеральном округе — **Ленинградская обл.** Реже в состав кризисных регионов попадают **Республика Башкортостан (ПФО), Рязанская обл. (ЦФО), Свердловская и Челябинская области (УрФО), а также Красноярский кр. (СФО).**

Таблица 2. Места регионов в листингах расчета индекса материального ущерба от пожаров в сельской местности за период 2006–2010 гг.

Номер региона	Регион	Место региона в листинге				
		2006	2007	2008	2009	2010
Центральный федеральный округ						
1	Брянская обл.					28
2	Владимирская обл.	5	7	4	3	10
3	Воронежская обл.		25	21		
4	Ивановская обл.					25
5	Калужская обл.				21	27
8	Липецкая обл.			14	16	18
9	Московская обл.	1	1	1	1	2
10	Рязанская обл.	12	9	10	9	8
11	Смоленская обл.		22	23		
12	Тверская обл.	11	17	16	12	9
13	Ярославская обл.	10	11	20	29	
Северо-Западный федеральный округ						
14	Республика Карелия		21			
15	Республика Коми					5
16	Архангельская обл.	18	12	18	14	11
17	Вологодская обл.	17		26	23	
18	Калининградская обл.				20	1
19	Ленинградская обл.	4	3	2	2	4
20	Новгородская обл.	22	27	28		
21	Ненецкий автономный округ		4			
Южный федеральный округ						
22	Краснодарский кр.	14	15	11	15	6
23	Волгоградская обл.	26				
24	Ростовская обл.	23	23	22	30	
Северо-Кавказский федеральный округ						
25	Республика Дагестан			24	25	19
26	Ставропольский кр.		24		27	
Приволжский федеральный округ						
27	Республика Башкортостан	8	6	5	5	16
28	Республика Марий Эл	3				
29	Республика Мордовия	2				26
30	Республика Татарстан	16	20	25	17	22
31	Удмуртская Республика	24	26	30		
32	Чувашская Республика		2			
33	Кировская обл.	29			24	15
34	Нижегородская обл.	6	5	3	8	12
35	Оренбургская обл.	21	18	19	26	
36	Самарская обл.	15	13		19	29
37	Саратовская обл.	20	29	9		
38	Ульяновская обл.					23

Окончание табл. 2

Номер региона	Регион	Место региона в листинге				
		2006	2007	2008	2009	2010
Уральский федеральный округ						
39	Свердловская обл.	9	16	6	7	14
40	Ямало-Ненецкий авто- номный округ					20
41	Челябинская обл.	13	8	7	4	7
Сибирский федеральный округ						
42	Республика Бурятия	27	28	17	6	21
43	Алтайский кр.	30		27	18	3
44	Красноярский кр.	7	10	8	10	17
45	Иркутская обл.	28	14	13	13	13
46	Новосибирская обл.	19	19	12	11	24
47	Омская обл.	25	30	15		
48	Томская обл.			29	22	30
Дальневосточный федеральный округ						
49	Приморский кр.				28	

Таблица 3. Частота попадания регионов РФ в листинг расчета индекса материального ущерба в сельской местности за период 2006–2010 гг.

Категория	Регионы	Частота
6	Владимирская, Московская, Рязанская, Тверская области (ЦФО); Архангельская, Ленинградская области (СЗФО); Краснодарский кр. (ЮФО); Республика Башкортостан, Республика Татарстан, Нижегородская обл. (ПФО); Свердловская, Челябинская области (УрФО); Республика Бурятия, Красноярский кр., Иркутская, Новосибирская области (СФО)	0,033
5	Ярославская обл. (ЦФО); Ростовская обл. (ЮФО); Оренбургская, Самарская области (ПФО); Алтайский кр. (СФО)	0,027
4	Липецкая обл. (ЦФО); Вологодская, Новгородская области (СЗФО); Республика Дагестан (СКФО); Удмуртская Республика, Кировская, Саратовская области (ПФО); Омская, Томская области (СФО)	0,02
3	Воронежская, Калужская, Смоленская области (ЦФО); Калининградская обл. (СЗФО); Ставропольский кр. (СКФО); Республика Мордовия (ПФО)	0,013
2	Брянская, Ивановская области (ЦФО); Республика Карелия, Республика Коми, Ненецкий автономный округ, Чеченская Республика (СЗФО); Волгоградская обл. (ЮФО); Республика Марий Эл, Чувашская Республика, Ульяновская обл. (ПФО); Ямало-Ненецкий автономный округ (УрФО); Приморский кр. (ДФО)	0,007
1	Остальные субъекты РФ, не попавшие в категории 2–6	0

Таблица 4. Частота попадания регионов в кризисную группу в период 2006–2010 гг.

Категория	Регионы	Частота
6	Московская обл. (ЦФО); Ленинградская обл. (СЗФО)	0,156
5	Владимирская обл. (ЦФО); Нижегородская обл. (ПФО)	0,105
4	Республика Башкортостан (ПФО)	0,079
3	Рязанская обл. (ЦФО); Свердловская, Челябинская области (УрФО); Красноярский кр. (СФО)	0,053
2	Республика Коми, Калининградская обл., Ненецкий автономный округ (СЗФО); Республика Марий Эл, Республика Мордовия, Чувашская Республика, Саратовская обл. (ПФО); Республика Бурятия, Алтайский кр., Новосибирская обл. (СФО)	0,026
1	Все остальные субъекты РФ, не попавшие в категории 2–6	0

Систематическое присутствие ряда регионов в составе кризисной группы в период 2006–2010 гг. свидетельствует о необходимости поиска новых управленческих решений.

На наш взгляд, одним из таких решений может быть перераспределение финансов, противопожар-

ной техники, людей между регионами, установление надбавок за сложность и напряженность службы в зависимости от места региона в листинге. Листинг индекса можно использовать для оценки действий руководителей. Снижение места региона в листинге, выход из кризисной группы, выход из листинга могут быть показателями качества работы руководителя.

В итоге предложен метод ранжирования и выделения группы 30 пожароопасных регионов по показателю материального ущерба от пожаров в сельской местности на территории Российской Федерации. Рассчитан индекс материального ущерба от пожаров в сельской местности за 2006–2010 гг. Обоснован способ определения кризисной группы регионов, в которых необходимо принятие неотложных мер. Вычислены частоты попадания регионов в листинг и в состав кризисной группы. В результате определены группы регионов, систематически попадающие в листинг расчета индекса и в состав кризисной группы.

Индекс материального ущерба от пожаров в сельской местности может быть использован для обоснования управленческих и кадровых решений аналогично индексу Доу-Джонса, получившему широкое употребление в экономике и финансах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пожары и пожарная безопасность в 2010 году : статистический сборник / Под общ. ред. В. И. Климкина. — М. : ВНИИПО, 2011. — 140 с.
2. Sullivan A., Sheffrin S. M. Economics: Principles in action. — New Jersey : Pearson Prentice Hall, 2003. — P. 290.
3. Anderson B. Economics and the Public Welfare: A Financial and Economic History of the United States, 1914–1946. — New York : Liberty Press, 1979. — P. 219.
4. Индекс Доу-Джонса: история появления и методика расчета. URL : <http://www.ereport.ru/articles/indexes/dowjones.htm> (дата обращения: 18.01.2013 г.).
5. Кайбичев И. А. Аналоги индекса Доу-Джонса в статистике пожаров // Актуальные проблемы обеспечения безопасности в Российской Федерации : V Всерос. науч.-практ. конф. (26 октября 2011 г.). — Екатеринбург : УрИ ГПС МЧС России, 2011. — Ч. 1. — С. 104–109.
6. Кайбичев И. А. Подход Доу-Джонса в статистике пожаров // Современные проблемы безопасности жизнедеятельности: теория и практика : матер. II Междунар. науч.-практ. конф. / Под общ. ред. Р. Н. Минниханова. — Казань : ГУ “Научный центр безопасности жизнедеятельности детей”, 2012. — Ч. II. — С. 639–646.
7. Кайбичев И. А. Индекс возгораний // Безопасность критичных инфраструктур и территорий : матер. V Всерос. конф. и XV Школы молодых ученых. — Екатеринбург : УрО РАН, Изд-во АМБ, 2012. — С. 124–125.
8. Кайбичев И. А. Индекс возгораний в рамках подхода Доу-Джонса // XXIV Международная научно-практическая конференция по проблемам пожарной безопасности, посвященная 75-летию создания института : тез. докл. — М. : ВНИИПО, 2012. — Ч. 3. — С. 199–202.
9. Кайбичев И. А., Орлов С. А. Индексы пожарной опасности // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 6. — С. 50–54.

Материал поступил в редакцию 28 февраля 2013 г.

INDEX OF THE MATERIAL DAMAGE FROM FIRES IN RURAL TERRAIN IN RUSSIAN FEDERATION FOR 2006–2010 YEARS

KAIBICHEVA E. I., First Grade Specialist, Federal Service Government Statistics in Sverdlovsk District "Sverdlovskstat" (Tolmacheva St., 23, Yekaterinburg, 620041, Russian Federation)

KAIBICHEV I. A., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; e-mail address: Kaibichev@mail.ru)

ABSTRACT

The main indicator of fire danger in rural terrain is the material damage from fires in the region of the Russian Federation. There are no clear criteria for allocation of the most problematic regions, making it difficult to make informed management decisions. This problem can be solved using the method of Dow Jones. Dow Jones is a recognized indicator of the economy and the stock market. The article prompted the index of material damage from fires in rural terrain based on the approach of Dow Jones. In the scheme of calculating the index material damage from fires in rural terrain Dow Jones method role of industrial corporations played by members of the Russian Federation. After adjusting for the subjects material damage from fires in the order of decrease we select 30 regions to the maximum material damage. These regions form listing the index calculation. Index of material damage from fires in rural terrain is the average of these regions, who are in the listing. The regions where the material damage from fires is above the index, form crisis group. In the paper, the calculation of the index material damage from fires in rural terrain in the Russian Federation for the years 2006–2010, are highlighted regions, trapped in the listing, as well as identify areas with a crisis situation. The proposed index of material damage from fires in rural terrain can be a basis for management and personnel decisions, similar to how the Dow Jones is used in economics and finance.

Keywords: statics of fires; Dow Jones Average; material damage from fires; rural terrain.

REFERENCES

1. Klimkin V. I. (ed.). *Pozhary i požarnaya statistika v 2010 godu* [Fires and fire safety in 2010]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2011. 140 p.
2. Sullivan A., Sheffrin S. M. *Economics: Principles in action*. New Jersey, Pearson Prentice Hall, 2003, p. 290.
3. Anderson B. *Economics and the Public Welfare: A Financial and Economic History of the United States, 1914–1946*. New York, Liberty Press, 1979, p. 219.
4. *Dow Jones Industrial Index*. Available at: <http://www.ereport.ru/articles/indexes/dowjones.htm> (Accessed 18 January 2013).
5. Kaibichev I. A. Analogi indeksa Dou-Dzhonsa v statistike požarov [Analogue of Dow Jones average in fire statistics]. *Aktualnyye problemy obespecheniya bezopasnosti v Rossiyskoy Federatsii: V Vseros. nauch.-prakt. konf., 26 oktyabrya 2011* [Actual problems of Fire Safety in Russian Federation. Proc. V All-Russian Scientific and Practical Conference, 26 October 2011]. Yekaterinburg, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia Publ., 2011. Part 1, pp. 104–109.
6. Kaibichev I. A. Podkhod Dou-Dzhonsa v statistike požarov [Dow Jones approach in fire statistics]. *Sovremennyye problemy bezopasnosti zhiznedeyatelnosti: teoriya i praktika: mater. II Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Modern problems of personal and social safety: theory and practice. Proc. II International Scientific and Practical Conference]. Kazan, Public Office "Scientific Centre of children's personal and social safety" Publ., 2012, part II, pp. 639–646.
7. Kaibichev I. A. Indeks vozgoraniy [Index of ignitions]. *Bezopasnost kritichnykh infrastruktur i territoriy: mater. V Vseros. konf. i XV Shkoly molodykh uchenykh* [Safety of critical infrastructures and territories. Proc. V All-Russian Science and Technology Conference and XV School of Young Scientists]. Yekaterinburg, Ural Branch of Russian Academy of Sciences, AMB Publ., 2012, pp. 124–125.
8. Kaibichev I. A. Indeks vozgoraniy v ramkakh podkhoda Dou-Dzhonsa [Index of ignitions in the context of Dow Jones approach]. *XXIV Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya po problemam požarnoy bezopasnosti, posvyashchennaya 75-letiyu sozdaniya instituta: tezisy dokladov* [XXIV International Scientific and Practical Conference on Fire Safety, Dedicated to the 75th Anniversary of the Institute. Abstracts]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2012, part 3, pp. 199–202.
9. Kaibichev I. A., Orlov S. A. Indeksy požarnoy opasnosti [Fireman Dangers Indexes]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 6, pp. 50–54.

В. Р. КОЗУБОВСКИЙ, д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник Ужгородского национального университета Министерства образования и науки Украины (Украина, 88000, г. Ужгород, ул. Подгорная, 46; e-mail: kozub@hotmail.com)

М. В. ФЕДАК, аспирант Ужгородского национального университета Министерства образования и науки Украины (Украина, 88000, г. Ужгород, ул. Подгорная, 46)

УДК 681.5:614.8

ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВО ГАЗОВЫХ ПОЖАРНЫХ ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ

Рассмотрены проблемные вопросы внедрения в производство газовых пожарных извещателей. Показано, что сертификационные испытания газовых извещателей являются необоснованно сложными и существенно отличаются от испытаний газосигнализаторов, хотя они имеют фактически одно и то же назначение — определение загазованности помещений. Показаны преимуществу газовых пожарных извещателей может способствовать их использование в качестве приборов двойного назначения — для выявления пожара на ранних стадиях его развития и для определения загазованности помещений токсичными и пожароопасными газами и парами.

Ключевые слова: газовые пожарные извещатели; комбинированные пожарные извещатели; газосигнализаторы; сертификационные испытания; оксид углерода.

В последнее время большое внимание уделяется газовым пожарным извещателям (ПИГ) как приборам, выявляющим пожары на начальной стадии их развития [1, 2]. Действительно, при низких температурах горения происходит неполное окисление углерода и выделяется большое количество угарного газа (СО) и дыма (несгоревшие частички углерода). Однако хорошо известные и широко используемые дымовые пожарные извещатели (ПВД) не позволяют выявить пожар на этапе тления вещества так быстро, как это могут сделать ПИГ по СО. Как мы уже говорили, дым — это несгоревшие частички, которые, будучи довольно тяжелыми, накапливаются внизу и поднимаются вверх к извещателям за счет конвекционных и диффузионных потоков, возникающих при значительном градиенте температур. Эти потоки довольно интенсивные только при условии значительного перепада температур, т. е. когда температура горения довольно высокая и начальный этап горения уже пройден. В случае же угарного газа он быстро поднимается вверх за счет броуновского хаотичного движения молекул. Действительно, молекулярный вес СО — 28, такой же, как и у азота, и эти газы быстро перемешиваются за счет хаотичного движения молекул. С учетом этих факторов разработан ряд международных стандартов — ISO 7240-8, EN 54-30, в которых определяются требования к газовым пожарным извещателям и приводятся методы их испытаний. Разработан также проект стандарта РФ ГОСТ Р 53325 с учетом требований

EN 54 и ISO 7240. Однако методы испытаний этих приборов необоснованно сложные и дорогие, что препятствует широкому внедрению ПИГ в производство.

Действительно, ПИГ являются, по сути, газосигнализаторами. Методика их испытаний достаточно хорошо отработана метрологическими службами. Для пожарных же сертификационных центров — это вещь в себе, и они не знают, как грамотно и с наименьшими усилиями провести испытания этих приборов. Поэтому сертификационные центры проводят испытания по стандартной методике, как и для дымовых пожарных извещателей. Однако в этих испытаниях в качестве контрольного прибора для определения концентрации СО используется газоанализатор СО, и с его помощью определяются все основные параметры ПИГ по СО. Иными словами, сам контрольный прибор испытывался как газоанализатор, ему приписывались определенные метрологические параметры, однако характеристик пожарного извещателя (ПИ) он не имеет: он не испытывался как ПИ, например, на влияние направления воздушного потока, скорости воздушного потока, мешающих компонентов, компонентов, образующихся при пожаре, и т. д., т. е. дополнительные погрешности газоанализатора от этих факторов влияния не определены. Погрешности же, указанные в технических параметрах газоанализатора по СО, например, от влияния температуры, не учитываются при испытаниях ПИГ по СО, как и другие дополнитель-

ные погрешности. Если де-юре считается, что параметры газоанализатора не зависят от этих факторов, то зачем же тогда проводить испытание ПИГ по СО по этим параметрам? Ведь он де-факто и есть такой же газоанализатор. Если предположить, что такая зависимость есть, то как мы можем тогда использовать газоанализатор в качестве контрольного прибора? Наверное, сначала его надо подвергнуть испытанию на влияющие факторы, определить дополнительные погрешности, а потом учитывать последние при проведении сертификационных испытаний ПИГ. Таким образом, возникает много вопросов, которые не находят своего решения в принятых нормативных документах.

Давайте кратко рассмотрим требования и методы испытаний, заложенные в этих стандартах, и их целесообразность. Начнем с ISO 7240-8:2007 [3],

а именно с плана испытаний (табл. 1 [3]) и основного испытательного оборудования — канала СО (рис. 1). Необходимо отметить, что этот стандарт описывает случай мультисенсорного извещателя (СО + тепло). Что касается тепла, то мы не будем рассматривать в этой статье требования к тепловым извещателям и методы их испытаний, так как они общеизвестны.

Первое, что бросается в глаза, — это большое количество образцов (24). Для сравнения при проведении сертификационных испытаний газосигнализаторов метрологам необходимы 3 образца, а при отказе одного из образцов — удвоенная партия, т. е. всего 9.

Далее, как мы уже говорили, СО распространяется за счет хаотичного движения молекул. В связи с этим возникает ряд вопросов. Зачем тогда нужно

Таблица 1. План испытаний (ISO 7240-8 [3])

Испытание	Раздел	Номер образца
1. Повторяемость (СО)	5.2	Произвольно выбранный
2. Зависимость от направления (СО)	5.3	Произвольно выбранный
3. Воспроизводимость (СО)	5.6	Все образцы
4. Перекрестная чувствительность	5.8	1
5. Долговременная стабильность (СО)	5.9	4
6. Насыщение (СО)	5.10	2
7. Склонность к влиянию химических компонентов, которые могут присутствовать при пожаре	5.11	3
8. Изменение параметров электропитания	5.12	5
9. Воздушный поток	5.13	6
10. Сухое тепло (стойкость)	5.14	7
11. Холод (стойкость)	5.15	8
12. Влажное тепло, циклический режим (стойкость)	5.16	9
13. Влажное тепло, постоянный режим (прочность)	5.17	10
14. Низкая влажность, постоянный режим (прочность)	5.18	11
15. Коррозионное влияние диоксида серы SO ₂ (прочность)	5.19	12
16. Толчок (стойкость)	5.20	13
17. Удар (стойкость)	5.21	14
18. Вибрация синусоидальная (стойкость)	5.22	15
19. Вибрация синусоидальная (прочность)	5.23	15
20. Электромагнитная совместимость (ЭМС), испытание на защищенность (стойкость):	5.24	
электростатический разряд		16*
излучение электромагнитного поля		17*
кондуктивные препятствия, вызванные электромагнитными полями		18*
пачки коротких переходных импульсов		19*
медленные броски напряжения большой энергии		20*
21. Чувствительность к пожару	5.25	21, 22, 23, 24

* С целью упрощения испытаний разрешено использовать тот же образец для нескольких испытаний на ЭМС. В таком случае промежуточные функциональные испытания на образцах, используемых более чем для одного испытания, можно исключить, и функциональное испытание можно проводить в конце такой серии испытаний. Однако следует отметить, что в случае отказа трудно будет определить, при каком именно испытании произошел отказ.

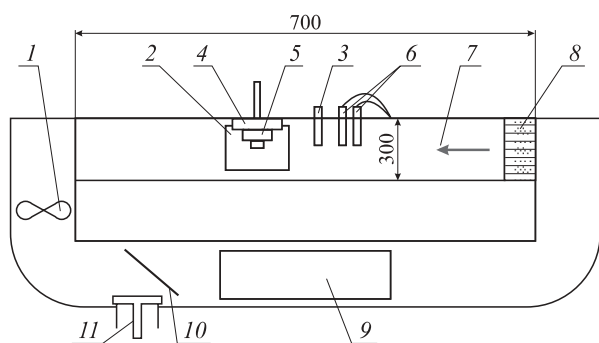


Рис. 1. Стенд “газовый канал” для измерения чувствительности ПИГ

создавать ламинарный поток в канале СО? Зачем проводить испытание чувствительности прибора в зависимости от направления потока? Нужно ли размещать в канале СО контрольный прибор по СО, если для испытаний используются проверочные газовые смеси (ПГС)? Тем более что при такой конструкции газового канала необходимо большое количество ПГС, которые, как известно, довольно дорогие.

Стенд “газовый канал” состоит из аэродинамической трубы закрытого типа со специальным устройством введения определенной концентрации газов. Причем концентрация вводимых газов должна быть однородная по всему объему измерительной зоны. Поперечное сечение аэродинамической трубы стенда “газовый канал” должно быть не менее 300×300 мм. Длина измерительной зоны стенда должна быть не менее 700 мм. Стенд должен обеспечивать возможность поддержания температуры контролируемой среды от минус 10 до $+55$ °С, а также создание скорости воздушного потока от $(0,20 \pm 0,04)$ до $(1,00 \pm 0,04)$ м/с с помощью регулятора скорости 10.

В измерительной зоне стенда “газовый канал” в отсек с крышкой 2 со стеклянным обзорным окном устанавливается испытуемый ПИГ 5. Для его установки используется плита с поворотным устройством 4. Создание воздушного потока с заданным направлением 7 в объеме камеры осуществляется с помощью вентилятора 1. Поддержание температуры в середине испытательной камеры обеспечивается электронагревателем и холодильником 9. Линейаризатор 8 предназначен для равномерного распределения газа по поперечному сечению и для выравнивания воздушного потока. Контроль температуры осуществляется с помощью датчика температуры 6, установленного на расстоянии, не превышающем 20 мм от испытываемого ПИГ, контроль скорости воздушного потока — с помощью измерителя скорости воздушного потока 3, контроль концентрации газа — с помощью газоанализатора по СО. Для продувки канала служит вентиляционное отверстие 11.

Действительно, обычно газовый канал имеет размеры $1,5 \times 3$ м при сечении самого канала $0,09\text{--}0,15$ м², т. е. объем канала составляет $1,7\text{--}2,0$ м³. Для того чтобы продуть канал, необходим трехкратный объем воздуха. Кроме того, очевидно, что такую конструкцию канала тяжело сделать герметичной. Таким образом, для снятия одной точки для одного образца необходимый объем ПГС составляет приблизительно 15 м³, а таких точек более 100. Значит, минимальная потребность в ПГС оксида углерода — 1500 м³, т. е. необходимо 2 баллона ПГС (один — на срабатывание ПИГ, другой — на несрабатывание) по 40 л под давлением 75 атм. А если учесть испытание на перекрестную чувствительность и на продукты сгорания, которые образуются при пожаре, то потребуется еще 12 ПГС разных газов (паров).

И уж совсем непонятно, как в таком канале проводить испытание на перекрестную чувствительность по восьми газовым компонентам, если одно испытание длится 96 ч. И это при отсутствии полной герметичности канала.

Теперь рассмотрим вариант, когда используется ПГС значительной концентрации, скажем 0,1 % об. СО, а концентрация срабатывания (25–75 мкл/л) достигается за счет медленного увеличения концентрации в канале со скоростью 1–6 мкл/(л·мин). Скорость потока в канале 0,2 м/с. Тогда минимальное время для достижения концентрации 75 мкл/л составит 12,5 мин; при скорости потока 0,2 м/с (12 м/мин) и для сечения канала $0,15$ м² получим около 22 м³ ПГС. Конечно, в случае относительной герметичности канала и циркуляции ПГС затрата ПГС на одну точку будет приблизительно такой же (15 м³). Таким образом, при проведении испытаний по ISO 7240-8 необходимо дорогостоящее оборудование и огромное количество ПГС.

Если рассматривать проект ГОСТ Р 53325 “Техника пожарная. Технические средства пожарной автоматики. Общие технические требования. Методы испытаний”, то его составители значительно упростили методы испытаний, хотя в проекте стандарта много неточностей (например, неясно, что такое скорость нарастания 6 ppm) и непонятных требований (например, как подавать на ПИГ концентрацию газа, способную вызвать срабатывание ПИГ в климатической камере, и какую концентрацию — может, соответствующую концу диапазона срабатывания?).

Действительно, вместо 24 образцов мы имеем 6, вместо 21 вида испытаний (см. табл. 1) — 17; огневых испытаний тоже стало меньше (табл. 2). Но основные проблемы остаются: необоснованно сложное испытательное оборудование и большое количество ПГС.

Что можно порекомендовать в такой ситуации? Во-первых, мы бы порекомендовали сначала под-

Таблица 2. Программа сертификационных испытаний ПИГ (проект ГОСТ Р 53325)

Испытание	Номер пункта		Номер образца извещателя					
	Технические требования	Метод испытаний	1	2	3	4	5	6
1. Огневые испытания	4.2.1.4	Прил. А	–	–	+	+	+	+
2. Стабильность	4.12.1.2	4.12.3.1	+	–	–	–	–	–
3. Зависимость чувствительности ПИГ от направления воздушного потока	4.12.1.4	4.12.3.2	–	–	+	–	–	–
4. Повторяемость, оптическая индикация режимов работы	4.12.1.3, 4.2.5.1	4.12.3.3	+	+	+	+	+	+
5. Устойчивость к воздушным потокам	4.12.1.5	4.12.3.4	–	+	–	–	–	–
6. Устойчивость к насыщению	4.13.1.6	4.12.3.5	–	–	+	–	–	–
7. Изменение напряжения питания. Устойчивость. Приоритет сигнала срабатывания*	4.2.1.5, 4.2.1.7	4.4.1, 4.4.8.2, 4.13.3.6	–	–	–	–	+	–
8. Проверка уровня звукового давления сигнала*	4.2.1.6	4.4.8.1	+	+	+	+	+	+
9. Сухое тепло. Устойчивость	4.2.2.1	4.12.3.7	–	–	–	–	–	+
10. Холод. Устойчивость	4.2.2.2	4.4.2, 4.12.3.8	–	+	–	–	–	–
11. Влажное тепло, постоянный режим. Устойчивость	4.2.2.3	4.4.3, 4.12.3.9	–	–	–	–	+	–
12. Прямой механический удар. Устойчивость	4.2.2.6	4.4.4, 4.12.3.10	–	–	+	–	–	–
13. Синусоидальная вибрация. Устойчивость	4.2.2.4	4.4.5, 4.12.3.11	–	–	–	+	–	–
14. Электрическая прочность	4.2.2.7	4.4.7	–	–	–	–	+	–
15. Сопротивление изоляции	4.2.2.8	4.4.7	–	–	–	–	+	–
16. Электромагнитная совместимость	4.2.3	4.4.6, 4.12.3.12	–	–	+	–	–	–
17. Пожарная безопасность	4.2.9.2	4.4.9	+	–	–	–	–	–

* Испытания проводят для извещателей пожарных автономных.

ключить к испытаниям метрологов и испытать ПИГ, как и все другие газосигнализаторы. Во-вторых, необходимо упростить газовый канал: изъять линеаризатор (подача газа на чувствительный элемент диффузная); изъять газоанализатор (использовать ПГС на срабатывание — 75 ppm и на несрабатывание — 25 ppm или второй вариант — использовать ПИГ с оцифратором и аттестовать (поверить) ПИГ у метрологов перед проведением испытаний, ведь он сам, по сути, является газоанализатором); изъять датчик температуры в случае, если испытывается мультисенсорный извещатель (СО + тепло), и использовать встроенный в ПИГ датчик температуры и оцифратор; изъять вентилятор, а ПГС подавать из баллона под давлением через ротаметр: зная скорость подачи ПГС и сечение канала, можно установить желательную скорость потока в канале; уменьшить поперечное сечение канала, например до удвоенного сечения ПИГ (ламинарный поток газа не нужен). После всего этого конструкция канала значительно упростится, необходимый для испытаний объем ПГС уменьшится до разумных границ (учитывая стоимость ПГС). Размер канала разрешит устанавливать его в климатическую камеру и проводить там температурные испытания, тогда

не нужен будет обогреватель и холодильник в канале. Испытания на мешающие компоненты и на перекрестную чувствительность можно проводить в эксикаторе: установить в эксикатор ПИГ, продуть его необходимой концентрацией газа, закрыть краны эксикатора и выдержать в нем извещатель необходимое время.

При испытаниях на чувствительность к пожару можно также в качестве контрольного газоанализатора использовать поверенный (аттестованный) метрологами ПИГ с оцифратором.

Таким образом, мы предлагаем упростить и уменьшить стоимость сертификационных испытаний, сделать их доступными для производителей этого типа приборов.

Ниже приведена конструкция разработанного нами газового канала СО (рис. 2), а также результаты проведенных нами испытаний образцов мультисенсорных пожарных извещателей (СО + тепло) СПКГТ-01 производства ПП “Артон” (Украина).

В извещателе использовался в качестве датчика тепла полупроводниковый терморезистор RH16-3H103, а в качестве газового сенсора — металлооксидный (SnO₂) полупроводниковый сенсор СО TGS 2442 фирмы “Фигаро” (Япония).

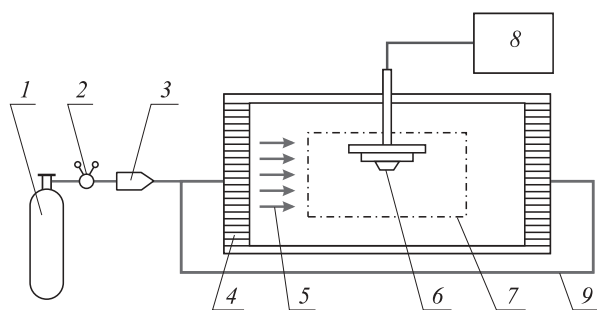


Рис. 2. Газовая испытательная камера, рабочая секция (вид сбоку): 1 — баллон с ПГС; 2 — вентиль тонкого регулирования; 3 — ротаметр РМ-А-0,1г УЗ; 4 — линейаризатор; 5 — воздушный поток; 6 — испытываемый извещатель; 7 — рабочий объем; 8 — оцифратор сигнала извещателя; 9 — обводной канал

Лабораторные испытания извещателя СПКГТ-01 проводились согласно разработанным в НИИ средств аналитической техники Ужгородского национально-го университета (САТ УжНУ) ТУ В 30.5-30150047-031: 2012 (далее — ТУ), которые распространяются на извещатели пожарные комбинированные газовые и

Таблица 3. Основные характеристики извещателя СПКГТ-01

Параметр	Норма
Номинальное напряжение питания, В	12,6
Потребляемая мощность в рабочем режиме, Вт, не более	0,5
Степень защиты оболочки (по ГОСТ 14254)	IP30
Габаритные размеры, мм, не более:	
диаметр	100
высота	55
Масса, кг, не более	0,3

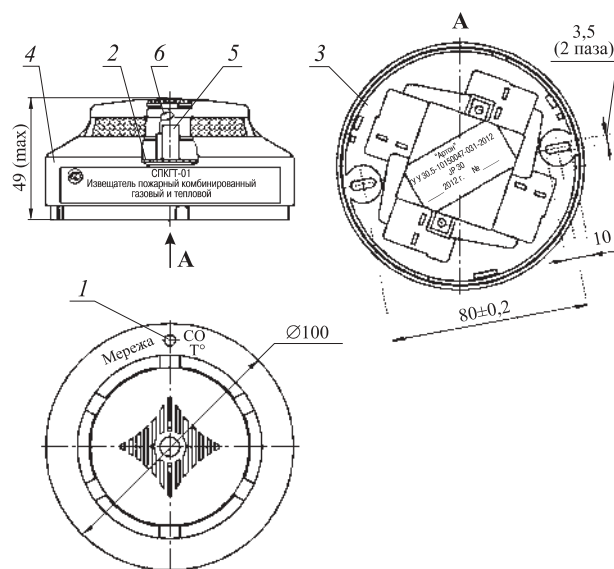


Рис. 3. Извещатель СПКГТ-01: 1 — светодиод; 2 — плата МЦИ 301411.015; 3 — поддон МЦИ 711431.032; 4 — крышка МЦИ 725325.025; 5 — газовый сенсор; 6 — сенсор тепла

тепловые, предназначенные для предупреждения пожаров на ранних стадиях, выдачи светового сигнала, а также для коммутации внешних электрических цепей при достижении установленных пороговых значений концентрации оксида углерода (угарного газа) и температуры. Проверка тепловых параметров проводилась на базе ПП «Артон». Результаты проверки оказались успешными. Однако поскольку методы тепловых испытаний являются общепринятыми, результаты тепловых испытаний здесь не приводятся.

Основные характеристики извещателя СПКГТ-01 приведены в табл. 3, а его устройство — на рис. 3.

Проверка на время срабатывания извещателя (п. 5.2 ТУ) (скорость роста концентрации 6 мкл/(л·мин), порог срабатывания $S = 50$ мкл/л)

Извещатель был установлен в канале СО в нормальном рабочем положении с помощью обычных средств крепления. Относительно направления воздушного потока он был установлен в таком положении, в котором во время испытаний на зависимость его чувствительности от направления потока было зафиксировано наименьшее значение. Перед каждым измерением канал СО продувался чистым воздухом, чтобы концентрация СО в канале была менее 1 мкл/л. Скорость воздушного потока во время измерений вблизи извещателя составляла $(0,2 \pm 0,04)$ м/с.

Во время проведения всех измерений извещателя температура воздуха в канале поддерживалась $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$. Извещатель был присоединен к его блоку питания и к оцифратору для контроля нарастания концентрации СО и стабилизирован на протяжении как минимум 15 мин. Оксид углерода вводился в канал таким образом, чтобы скорость роста концентрации СО была приблизительно 6 мкл/(л·мин), пока образец не перейдет в состояние срабатывания. Испытание прекращалось, когда концентрация СО достигала 100 мкл/л.

Концентрация СО, зарегистрированная в момент выдачи извещателем сигнала тревоги, была принята за порог срабатывания СО S . Время срабатывания по СО оценивалось как время, необходимое для выдачи сигнала тревоги при росте концентрации СО от начального момента до точки, в которой извещатель срабатывает. Измеренное время срабатывания извещателя по СО было записано как $T_{\text{СО}}$.

Результаты проверки являются положительными, если время срабатывания извещателя в пределах диапазона концентраций СО 25–75 мкл/л не превышает 12 мин (при скорости нарастания концентрации СО 6 мкл/(л·мин)). Результаты испытаний приведены в табл. 4.

Таблица 4. Проверка времени срабатывания извещателя

Параметр	Требование ТУ	Результат испытаний	Вывод
Время срабатывания по СО	<12 мин	8 мин 2 с	Соответ.

Проверка на повторяемость показаний (п. 5.4 ТУ)

Значение порога срабатывания извещателя по СО измерялось 6 раз согласно п. 5.2 ТУ. Положение извещателя относительно направления воздушного потока было произвольным, но оставалось одинаковым во время проведения всех шести измерений. Максимальное измеренное значение порога срабатывания обозначалось как $S_{\max}$, а минимальное — $S_{\min}$.

Результаты проверки считались положительными, если чувствительность извещателя по СО оставалась постоянной и отвечала следующим требованиям. Чувствительность извещателя должна оставаться постоянной даже после большого количества срабатываний. Минимальное значение порога срабатывания $S_{\min}$ не должно быть менее 25 мкл/л; соотношение $S_{\max}:S_{\min}$ не должно превышать 1,6. Результаты испытаний приведены в табл. 5 и 6.

Проверка на зависимость чувствительности ПИГ от направления воздушного потока (п. 5.5 ТУ)

Значение порога срабатывания испытанного образца измерялось 8 раз согласно п. 5.3 ТУ. Образец поворачивали после каждого измерения на 45° вокруг его вертикальной оси так, чтобы измеренные значения отвечали восьми разным положениям относительно направления воздушного потока. Максимальное измеренное значение порога срабатывания по СО обозначалось как $S_{\max}$, а минимальное — $S_{\min}$. Оба положения, в которых были измерены максимальное и минимальное значения порога срабатывания, фиксировались.

Таблица 5. Порог срабатывания извещателя по СО

Номер испытания	1	2	3	4	5	6
Порог срабатывания, мкл/л	48	48	48	48	49	48

Таблица 6. Результаты испытаний на повторяемость показаний извещателя по СО

Параметр	Требование ТУ	Результаты испытаний	Вывод
$S_{\min}$, мкл/л	≥ 25	48	Соответ.
$S_{\max}$, мкл/л	—	49	—
$S_{\max}:S_{\min}$	$>1,6$	1,02	Соответ.

Таблица 7. Порог срабатывания извещателя по СО в зависимости от его положения относительно направления воздушного потока

Положение, град	0	90	180	270
Порог срабатывания по СО, мкл/л	48	49	48	48

Таблица 8. Результаты испытаний извещателя на зависимость чувствительности от направления воздушного потока по СО

Параметр	Требование ТУ	Результаты испытаний	Вывод
$S_{\min}$, мкл/л	≥ 25	48	Соответ.
$S_{\max}$, мкл/л	—	49	—
$S_{\max}:S_{\min}$	$<1,6$	1,02	Соответ.

Во время дальнейших испытаний положение, в котором было измерено максимальное значение порога срабатывания, должно обозначаться как положение с наименьшей чувствительностью, а положение с минимальным значением порога — как положение с наибольшей чувствительностью.

Результаты проверки считались положительными, если чувствительность извещателя отвечала следующим требованиям. Чувствительность извещателя СО не должна зависеть чрезмерно от направления потока воздуха вблизи извещателя. Минимальное значение порога срабатывания $S_{\min}$ не должно быть менее 25 мкл/л; соотношение $S_{\max}:S_{\min}$ не должно превышать 1,6.

Результаты испытаний приведены в табл. 7 и 8.

Проверка на воспроизводимость показаний ПИГ (п. 5.8 ТУ)

Значение порога срабатывания каждого из испытываемых извещателей измерялось согласно п. 5.2 ТУ. Среднее арифметическое полученных значений порога срабатывания по СО обозначалось как S_{ave} . Максимальное измеренное значение порога срабатывания обозначалось как $S_{\max}$, минимальное — $S_{\min}$.

Результаты испытаний считались положительными, если чувствительность извещателя не отличалась чрезмерно от образца к образцу. Минимальное значение порога срабатывания $S_{\min}$ не должно быть менее 25 мкл/л. Соотношение $S_{\max}:S_{\text{ave}}$ не должно превышать 1,33; соотношение $S_{\text{ave}}:S_{\min}$ — 1,5.

Результаты испытаний приведены в табл. 9 и 10.

Таблица 9. Порог срабатывания по СО

Номер образца	1	2	3	4	5
Порог срабатывания СО, мкл/л	46	48	48	48	49

Таблица 10. Результаты испытаний на воспроизводимость показаний

Параметр	Требование ТУ	Результаты испытаний	Вывод
$S_{\min}$, мкл/л	≥ 25	46	Соответ.
$S_{\max}$, мкл/л	—	49	—
S_{ave} , мкл/л	—	47,8	—
$S_{\max}:S_{ave}$	$<1,33$	1,025	Соответ.
$S_{ave}:S_{\min}$	$<1,5$	1,04	Соответ.

Проверка на перекрестную чувствительность (п. 5.10 ТУ)

Перед началом испытания извещатель был установлен в испытательную газовую камеру в нормальном рабочем положении с помощью стандартных средств крепления. Перед началом каждого испытания испытательная газовая камера проветривалась, с тем чтобы перед началом каждого испытания концентрация оксида углерода и испытательного газа в ней была менее 1 мкл/л. Скорость воздуха вблизи образца составляла $(0,2 \pm 0,04)$ м/с на протяжении всего измерения. Температура воздуха в канале была (23 ± 5) °С на протяжении всего испытания.

Извещатель был соединен с оборудованием электропитания и контроля согласно ТУ, образец стабилизировался на протяжении не менее 15 мин. В газовую испытательную камеру вводился определенный газ, чтобы его концентрация достигла приведенного в табл. 11 значения в течение 10 мин. Извещатель стабилизировался на протяжении 1 ч при достигнутой концентрации газа. Перекрестная чувствительность определялась при наиболее чувствительном положении извещателя.

Извещатели должны противостоять влиянию загрязнителей атмосферы или химическим компонентам, которые могут присутствовать в процессе эксплуатации. Извещатели не должны выдавать сигнал тревоги или неисправности во время их воздействия. Извещатели также не должны выдавать

Таблица 11. Концентрация газов и паров

Номер ПГС	Химический компонент	Концентрация, мкл/л	Время, ч	
			влияния	восстановления
1	Оксид углерода	15 ± 10 %	24	1–2
2	Диоксид азота	5 ± 10 %	96	1–2
3	Диоксид серы	5 ± 10 %	96	1–2
4	Хлор	2 ± 10 %	96	1–2
5	Аммиак	50 ± 10 %	1	1–2
6	Гептан	100 ± 10 %	1	1–2
7	Этанол	500 ± 10 %	1	24–25
8	Ацетон	1500 ± 10 %	1	24–25

Таблица 12. Результаты испытаний на перекрестную чувствительность

Химический компонент	Концентрационное влияние, мкл/л	Соответствие ТУ
C_2H_5OH	500	Соответ.
NH_3	50	Соответ.

сигнала тревоги или ошибки во время испытаний, если воздух свободен от СО.

Были проведены исследования воздействия паров спирта и аммиака на показания ПИГ и установлено, что данные вещества практически не влияют на работу ПИГ СПКГТ-01. Результаты испытаний приведены в табл. 12.

Проверка на устойчивость к насыщению (п. 5.17 ТУ)

Извещатель устанавливался в нормальном положении в испытательную газовую камеру и закреплялся с помощью стандартных средств крепления. Ориентация извещателя относительно направления воздушного потока соответствовала его наименьшей чувствительности, которая определялась во время испытаний на зависимость от направления воздушного потока.

Перед началом каждого испытания испытательная газовая камера продувалась чистым воздухом, с тем чтобы концентрация оксида углерода в ней была менее 1 мкл/л. Скорость воздушного потока вблизи извещателя составляла $(0,2 \pm 0,04)$ м/с на протяжении всего испытания. Температура воздуха в канале была (23 ± 5) °С на протяжении всего испытания.

Извещатель соединялся с оборудованием электропитания и контроля согласно ТУ и стабилизировался на протяжении не менее 15 мин.

Оксид углерода вводился в газовую испытательную камеру так, чтобы скорость нарастания концентрации была 50 мкл/(л·мин) до достижения значения концентрации 500 мкл/л. Эта концентрация поддерживалась в течение 2 ч. После завершения воздействия извещатель восстанавливался в стандартных рабочих условиях на протяжении 4 ч. Затем измерялось значение порога срабатывания по СО согласно п. 5.2 этих ТУ. Наибольшее из значений порога срабатывания по СО, измеренное в этом испытании и в испытании на воспроизводимость этого же извещателя, обозначалось как $S_{\max}$, а наименьшее — как $S_{\min}$.

Извещатели должны противостоять влиянию высоких концентраций оксида углерода, образующихся во время пожара. Извещатели должны быть в режиме срабатывания во время воздействия и могут генерировать сигнал тревоги в течение приближи-

Таблица 13. Результаты испытаний на устойчивость к насыщению

Параметр	Требование ТУ	Результаты испытаний	Вывод
$S_{\min}$, мкл/л	—	48	—
$S_{\max}$, мкл/л	—	49	—
$S_{\max}:S_{\min}$	<1,6	1,02	Соответ.

тельно 1 мин после того, как будут помещены в стандартные рабочие условия в конце периода воздействия. Наиболее низкое значение порога срабатывания $S_{\min}$ не должно быть менее 25 мкл/л; соотношение $S_{\max}:S_{\min}$ не должно превышать 1,6. Результаты испытаний приведены в табл. 13.

Проверка на долговременную стабильность (п. 5.11 ТУ)

Четыре извещателя были соединены с соответствующим оборудованием питания и контроля согласно ТУ и размещены на 84 дня в помещении, свободном от СО и атмосферных загрязнителей. Значения порога срабатывания СО снимались, как описано в п. 5.2 ТУ, на 28; 56 и 84-й день с начала испытания. Наибольшие из значений, измеренных в этом испытании и для того же самого извещателя в испытаниях на воспроизводимость, были зафиксированы как $S_{\max}$, наименьшие — как $S_{\min}$.

Порог срабатывания извещателя не должен изменяться на протяжении продолжительного периода времени. Наиболее низкое значение порога срабатывания $S_{\min}$ не должно быть менее 25 мкл/л; соотношение $S_{\max}:S_{\min}$ не должно превышать 1,6. Результаты испытаний приведены в табл. 14 и 15.

Таким образом, мы видим, что проведенные испытания ПИГ на такие факторы, как направление воздушного потока, показали, что они не влияют су-

щественно на порог срабатывания ПИГ. Методика проведения остальных испытаний аналогична той, которая применяется и в случае газосигнализаторов. Следовательно, ПИГ можно сертифицировать как средство измерения концентрации СО на основе результатов испытаний ПИГ и только после этого его можно применять в качестве прибора для контроля загазованности помещений СО.

Далее мы рассмотрим расчетные модели процессов диффузии СО, которые также подтверждают отсутствие необходимости включать в перечень испытаний зависимость показаний ПИГ от направления и скорости (в разумных пределах) воздушного потока.

В действующих нормативных документах заложена упрощенная методика, которая не учитывает динамики распространения концентрации газа для ПИГ. В настоящее время благодаря широкому использованию вычислительной техники можно получить реальную картину массообмена в помещении в реальном времени и в трехмерном пространстве и легко моделировать любые аварийные ситуации. На основании таких расчетов можно рационально размещать ПИГ.

Для описания однонаправленной диффузии в бинарной смеси используется закон Фика $J_d = -D(dc)/(dx)$ (где D — коэффициент диффузии). Коэффициент диффузии принят постоянным, так как он незначительно зависит как от состава смеси, так и от давления и температуры: $D = 3200 \text{ м}^2/\text{с}$.

Пространство, на котором изучается процесс распространения исследуемого газа, представляется как некоторое пространство заданных размеров ($6 \times 9 \times 4 \text{ м}$ — размер комнаты тестовых пожаров), разбитое на прямоугольные элементы. Размер каждого элемента выбирался из условия допущения о равномерности распределения концентрации газа в пределах элемента. Уравнение материального баланса составлялось для каждого элемента, представляющего собой сечение горизонтальной и вертикальной полос. Размеры этого элемента определяются из условия достижения нужной точности моделирования.

Источник газа, смоделированный в центре комнаты, представляет собой круг радиусом 20 см, через который в помещение поступает газ (СО) с концентрацией 75 мкл/л со скоростью $0,005 \text{ м}^3/\text{с}$ (рис. 4).

Предельные условия описывают в данном случае свойства самого пространства, выраженные в изменении коэффициента диффузии: например, в каких-то точках пространства коэффициент диффузии равняется 0 (непроницаемая перегородка).

Решение задачи проводилось конечно-разностным методом. Для одного элемента составлялось уравнение материального баланса, которое учитывает закон Фика, и уравнение переноса $(\partial j)/(\partial x) = (\partial c)/(\partial t)$.

Таблица 14. Показания извещателей

Номер образца	S , мкл/л		
	28-й день	56-й день	84-й день
1	49	50	49
2	47	48	48
3	50	48	48
4	49	47	48

Таблица 15. Результаты испытаний на долговременную стабильность

Параметр	Требование ТУ	Результаты испытаний	Вывод
$S_{\min}$, мкл/л	≥ 25	47	Соответ.
$S_{\max}$, мкл/л	—	50	—
$S_{\max}:S_{\min}$	<1,6	1,06	Соответ.

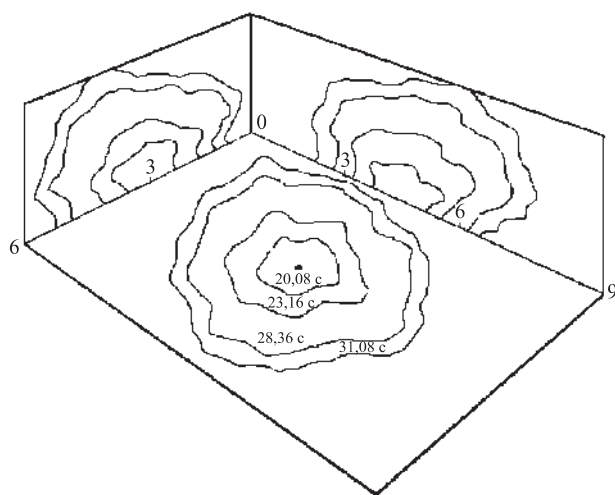


Рис. 4. Распространение СО с концентрацией 75 мкл/л в помещении 6×9×4 м за счет диффузии (показаны фронты с концентрацией 50 мкл/л с указанием времени достигнутого ими положения в трех взаимно перпендикулярных плоскостях)

Шаг времени принят равным 0,02 с. Решение задачи представляет собой многошаговый процесс расчета искомых концентраций для каждого элемента исследуемого пространства. Концентрация рассчитывается с помощью рекуррентных формул, которые отображают процесс распространения газа под влиянием диффузии. Эти формулы представляют собой конечно-разностную интерпретацию дифференциальных уравнений и описывают математическую модель исследуемого процесса. Модель построена таким образом, чтобы в результате моделирования было установлено распределение концентраций газа в заданном пространстве.

Как видим, диффузионное распространение сигнальных концентраций угарного газа происходит довольно быстро даже при отсутствии конвекционных потоков от пожара. Таким образом, нет необходимости создавать ламинарный поток со скоростью 0,2 м/с для проверки характеристик образца, как и исследовать зависимость показаний от направления этого потока.

В заключение остановимся на преимуществах и недостатках ПИГ СО.

1. Наиболее эффективны ПИГ СО на начальных стадиях развития большинства пожаров, если пожар развивается медленно, материал тлеет и регистрируются довольно высокие уровни концентрации оксида углерода. При переходе пожара к стадии открытого пламени уровень концентрации СО падает.

2. При полном сгорании материалов, которые содержат углерод, или в случае быстрого развития пожара при достаточной концентрации кислорода наблюдаются обычно низкие уровни угарного газа, поскольку происходит процесс полного сгорания, и выделяются пары воды и диоксид углерода. При пожаре в закрытых помещениях количества посту-

пающего воздуха может быть недостаточно для развития пожара, и в этом случае происходит выгорание кислорода в воздухе и концентрация СО увеличивается.

3. В сравнении с дымовыми извещателями пожарный газовый извещатель СО дополнительно выигрывает в быстродействии благодаря тепловым конвекционным потокам, образующимся при пожаре. Эти потоки способствуют быстрому распространению СО и достижению им чувствительного элемента детектора. Как отмечалось ранее, оксид углерода имеет удельную плотность, близкую к плотности воздуха, и размеры его молекул значительно меньше размеров частичек дыма, что приводит к более интенсивному процессу диффузии, быстрому рассеиванию СО в пределах помещений по сравнению с дымом. Это позволяет ПИГ СО работать более эффективно в местах, где присутствуют физические барьеры, балки, перегородки, ограничивающие распространение дыма. Кроме того, гравитационное поле Земли создает силу, которая способствует выталкиванию легких частиц вверх более тяжелыми частицами.

4. ПИГ СО, как и ПИД, построены по схеме прямого отсчета, т. е. погрешности от каждого функционального элемента складываются. Для ПИД такими элементами являются светодиод, фотодиод, камера рассеивания. Светодиод и фотодиод — полупроводниковые элементы, параметры которых сильно зависят от температуры. Кроме того, происходит их деградация со временем. Камера рассеивания быстро запыляется в реальных помещениях. Таким образом, ПИД является прибором с большим количеством степеней свободы и поэтому непредсказуем. Напротив, ПИГ СО имеет один функциональный элемент — датчик СО, параметры которого зависят от температуры и у которого происходит деградация полупроводникового чувствительного слоя или электрохимической ячейки. В полупроводниковом датчике имеется нагреватель чувствительного слоя, поэтому датчик легко можно термостабилизировать. Запыление и влияние агрессивных компонентов, мешающих газов устраняются с помощью угольного фильтра, установленного на входе воздуха в датчик СО. Таким образом, ПИГ СО на основе полупроводникового датчика имеет одну степень свободы (за счет деградации) и является вполне предсказуемым: деградация влияет на долговременную стабильность, скорость деградации незначительна и этот процесс однонаправленный — со временем увеличивается сопротивление чувствительного слоя.

5. ПИГ по СО рекомендуется располагать по правилам размещения газосигнализаторов легких газов, а именно: в верхней части помещения на расстоянии от потолка не более 0,5 м, исходя из условия максимальной площади, контролируемой одним

ПИГ, не более 100 м². При большей площади помещения ПИГ устанавливаются с расстоянием между ними не более 10 м, на расстоянии от стенок помещения не более 5 м.

6. Дополнительно рекомендуется использовать комбинацию разных датчиков для ПИ, например газового и теплового. Это так называемые мультисенсорные или комбинированные ПИ. Если мы рассмотрим чувствительность к пожару теплового и газового (СО) ПИ, то увидим, что они дополняют друг друга. Тепловой пожарный извещатель имеет хорошую чувствительность к процессам горения материалов (тип пожара ТП1, ТП4, ТП5, ТП6), а газовый (СО) — к тлению материалов (тип пожара ТП2, ТП3, ТП9). Поскольку эта комбинация очень удачная (охватывает все типы пожаров), относительно дешевая и надежная, то специально для этого типа комбинированных ПИ разработаны нормативные документы — ISO 7240-8, EN 54-30.

Выводы

Как мы видим, ПИГ с каналом СО являются приборами, гарантирующими выявление пожара на на-

чальных стадиях его развития (стадия тления материала). Методы испытаний ПИГ являются необоснованно сложными, и их необходимо максимально приблизить к методам испытаний других типов приборов газового анализа — газоанализаторов и газосигнализаторов. Кроме того, технические параметры ПИГ дают возможность их использования для выявления загазованности помещений токсичными и пожароопасными газами и парами для предотвращения отравления людей, улучшения пожарной безопасности помещений. Иными словами, ПИГ фактически являются приборами двойного назначения, и разработка единого ТУ на эти изделия (принцип “одно изделие — одно ТУ”) и их дополнительная сертификация в качестве газосигнализаторов дадут возможность вместо двух приборов (ПИ и газосигнализатора) устанавливать один — ПИГ, используя при этом одну систему приема-контроля, что даст дополнительный экономический эффект. Комбинация теплового и газового каналов в одном ПИ позволит охватить все типы пожаров и будет наиболее эффективной для их выявления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неплохов И. Г. Выбор извещателя в зависимости от типа помещений и условий эксплуатации. Часть 1–3 // Технологии защиты. — 2012. — № 4–6.
2. Федоров А. В., Членов А. Н., Лукьяненко А. А., Буцынская Т. А., Демехин Ф. В. Системы и технические средства раннего обнаружения пожара. — М.: Академия ГПС МЧС России, 2009. — 158 с.
3. ISO 7240-8:2007. Системы обнаружения пожара и аварийной сигнализации. Часть 8. Пожарные датчики монооксида углерода (угарного газа) с применением гальванического элемента в комбинации с датчиком температуры. — Введ. 15.08.2007 г.

Материал поступил в редакцию 16 апреля 2013 г.

English

ISSUES OF DESIGN AND PRODUCTION IMPLEMENTATION OF GAS-SENSING FIRE DETECTORS

KOZUBOVSKIY V. R., Doctor of Technical Sciences, Leading Researcher, Uzhgorod National University, Ministry of Education and Science of Ukraine (Podgornaya St., 46, Uzhgorod, 88000, Ukraine; e-mail address: kozub@hotmail.com)

FEDAK M. V., Postgraduate Student, Uzhgorod National University, Ministry of Education and Science of Ukraine (Podgornaya St., 46, Uzhgorod, 88000, Ukraine)

ABSTRACT

The issues of design and production implementation of gas-sensing fire detectors, combination fire detectors, are considered in this paper. It is shown that gas-sensing fire detectors with a carbon monoxide channel are devices that ensure fire detection during the early stages of its development (the stage of smoldering of a material). However, the certification procedure for gas-sensing fire detectors is unnecessarily complicated and differs considerably from that for gas alarms, even though the two serve virtually the same purpose: to determine the level of indoor gas contamination. Consequently, the testing methods for gas-sensing fire detectors should be converged as much as possible with those for other types of gas analysis devices, such as gas analyzers and gas alarms.

Moreover, the technical parameters of gas-sensing fire detectors allow them to be used for evaluating the level of indoor contamination by toxic, flammable, and explosive gases and fumes (provided that the channel for flammable gases is used) as well as for preventing human gas poisoning and improving fire and explosion safety of the premises. In other words, gas-sensing fire detectors are essentially dual-purpose devices and their additional certification as gas alarms will provide an opportunity to install, instead of two devices — the fire detector and gas alarm, just one device — the gas-sensing fire detector, using a single monitoring and receiving system, which offers an additional economic benefit. Advantages and disadvantages of gas-sensing fire detectors are shown. The authors believe that the combining of thermal and gas channels in one fire detector allows to comprise all types of fire and is the most effective for their detection in terms of cost and quality. Test results for the prototype combination detector SPKGT-01, based on the heat sensor (thermistor), and the semi-conductor sensor TGS 2442 of carbon monoxide are provided. Recommendations on how to simplify the testing methods and current testing equipment for gas-sensing fire detectors are given.

Keywords: gas-sensing fire detectors; combination detector; gas alarms; certification test; carbon monoxide.

REFERENCES

1. Neplokhov I. G. Vybory izveshchatel'nykh v zavisimosti ot tipa pomeshcheniya i usloviy ekspluatatsii. Chast 1–3 [Choice of alarm detector depending from type of premises and operation conditions. Part 1–3]. *Tekhnologiya zashchity — Technologies of Protection*, 2012, no. 4–6.
2. Fedorov A. V., Chlenov A. N., Lukyanov A. A., Butsynskaya T. A., Demekhin F. V. *Sistemy i tekhnicheskiye sredstva rannego obnaruzheniya pozhara* [Systems and means of early detection of fire]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2009. 158 p.
3. ISO 7240-8:2007. Fire detection and alarm systems — Part 8: Carbon monoxide fire detectors using an electro-chemical cell in combination with a heat sensor.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

А. Я. Корольченко, Д. О. Загорский
КАТЕГОРИРОВАНИЕ ПОМЕЩЕНИЙ И ЗДАНИЙ ПО ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ
И ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ. — М. : Пожнаука, 2010. — 118 с.



В учебном пособии изложены принципы категорирования помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности, содержащиеся в современных нормативных документах. На примерах конкретных помещений рассмотрено использование требований нормативных документов к установлению категорий. Показана возможность изменения категорий помещений путем изменения технологии или внедрения инженерных мероприятий по снижению уровня взрывопожароопасности и повышению надежности технологического оборудования и процессов.

Пособие рассчитано на студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям «Пожарная безопасность», «Безопасность технологических процессов и производств», «Безопасность жизнедеятельности в техносфере», студентов строительных вузов и факультетов, обучающихся по специальности «Промышленное и гражданское строительство», сотрудников научно-исследовательских, проектных организаций и нормативно-технических служб, ответственных за обеспечение пожарной безопасности.

121352, г. Москва, а/я 43; тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: mail@firepress.ru

Б. Ж. БИТУЕВ, доцент кафедры пожарной тактики и службы Академии Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: bityev2012@mail.ru)

УДК 614.841.2:621.642

ПРОБЛЕМЫ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ РЕЗЕРВУАРОВ С НОВЫМИ ЕВРОТОПЛИВАМИ

Приведена количественная статистика пожаров на резервуарах для хранения нефти и нефтепродуктов. Предложено краткое описание наиболее крупных пожаров, происшедших за последнее десятилетие как в России, так и за рубежом. Обоснована актуальность применения новых технологий пожаротушения и противопожарной защиты резервуаров и объектов резервуарных парков с оборотом топлив европейского стандарта.

Ключевые слова: пенообразователь; моторные топлива европейского стандарта.

Исследуя пожары на объектах нефтяной и нефтеперерабатывающей промышленности, эксперты и специалисты в области пожарной безопасности делают выводы, что наибольшая доля пожаров зафиксирована в резервуарах и резервуарных парках (рис. 1).

Согласно статистике за последнее десятилетие на наземных резервуарах произошло около 93,4 % пожаров и аварий. Они распределяются следующим образом: 32,1 % — на резервуарах с сырой нефтью, 53,9 % — с автомобильными топливами и 14,0 % — с другими видами нефтепродуктов (мазут, керосин и пр.) [1].

Зарубежные и отечественные данные по пожарам свидетельствуют о слабой устойчивости резервуаров с нефтепродуктами к тепловому воздействию и взрывам, а также о большой сложности их тушения. Кроме того, в зарубежных материалах отмечается тенденция к повышению пожарной опасности таких объектов с увеличением единичной вместимости резервуаров. В настоящее время уже применяются резервуары вместимостью 100 тыс. м³,

ведутся конструкторские разработки резервуаров вместимостью 120 тыс. м³. Совершенно ясно, что для резервуаров такой вместимости должна предусматриваться особая противопожарная защита и новые технологии пожаротушения.

Считается, что основным (а в отдельных случаях и единственным) средством тушения пожаров нефтепродуктов является воздушно-механическая пена. К сожалению, на сегодняшний день более эффективного средства тушения человечеством не придумано. Крупные пожары последних лет в России, США и Европе были ликвидированы только после применения пены, а именно пены, приготовленной на основе специальных пенообразователей [2].

Согласно Техническому регламенту “О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и топочному мазуту” [3] на территории РФ уже к концу 2012 г. будет запрещен выпуск и оборот бензина класса Евро-2 и ниже. В переходный период 2013–2014 гг. допускается оборот



Рис. 1. Крупные пожары: а — в резервуаре РВС-100 000 (США); б — на ЛПДС Конда (Россия)

бензина классов Евро-3 и Евро-4, а после 2015 г. будет разрешен выпуск и оборот только автомобильного бензина класса Евро-5.

Евротоплива, в состав которых входят различные спирты и стабилизирующие добавки, принято называть смесевыми топливами. Проблемы тушения смесевых топлив связаны с тем, что бензины, в состав которых входят спирты, не могут быть потушены пеной, полученной на основе обычных пенообразователей, так как пена, покрывая смесевые топлива, разрушается из-за присутствия в них полярных растворителей, в том числе спиртов.

При изготовлении моторных топлив европейского стандарта в их состав будут входить метанол, этанол, изопропанол, изобутанол и сложные эфиры [3]. Из-за высокой концентрации спиртов (от 15 до 20 %) возникает проблема, связанная с возможностью и способом тушения пожаров таких автомобильных топлив.

Предварительные испытания процесса тушения топлив европейского стандарта, проведенные с использованием традиционных углеводородных пенообразователей, не дали положительного результата, поскольку такая пена при контакте с горящей смесью быстро разрушалась.

Решение этой проблемы заключается в выборе особого типа пены, полученной на основе специальных пенообразователей; проведении обследования существующих систем противопожарной защиты, а также в научном обосновании технологии процесса тушения, при которой пены не будут разрушаться при длительном контакте с агрессивными растворителями и спиртами.

Для тушения смесевых топлив необходимо использовать специальные пенообразователи, обладающие высокой огнетушащей эффективностью, а подачу пены — осуществлять с помощью современных технических приборов и в соответствии с технологией ее подачи для тушения горючей жидкости.

В нормативных документах, в частности в СНиП 2.11.03–93* [4], содержатся требования по оборудованию резервуаров вместимостью более 5000 м³ автоматическими системами пожаротушения; определена нормативная интенсивность подачи раствора пенообразователя на тушение горючей жидкости. Выбор интенсивности подачи огнетушащего вещества определяется в зависимости от природы горючей жидкости, а точнее от температуры вспышки, и обусловлен типом пенообразователя и кратностью получаемой воздушно-механической пены.

В табл. 1 приложения 3 [4] приведены интенсивности подачи огнетушащего вещества только для двух типов пенообразователей — общего и целевого назначения. При этом не учитывается время свободного развития пожара до момента проведе-

ния пенных атак, а также способы подачи пены, что является не только неверным подходом, но и устаревшим. Поскольку при свободном нагреве горючих жидкостей меняются как их физико-химические свойства, так и пожаровзрывоопасные показатели, это обуславливает необходимость совсем иного подхода к проблеме пожаротушения.

Выбор способа подачи пены на тушение пожара должен в обязательном порядке зависеть от типа резервуара (наземный, железобетонный подземный) и его конструкции (со стационарной крышей, с понтоном или без него, либо с плавающей крышей), а также от природы хранимого нефтепродукта.

Резервуары со стационарной крышей без понтона защищаются подачей:

- пены средней кратности на поверхность нефтепродукта;
- низкократной пены сверху через пенные камеры;
- низкократной пены в нижнюю часть резервуара как непосредственно в нефтепродукт (подслонный способ), так и через эластичный рукав с выходом на поверхность нефтепродукта.

Резервуары со стационарной крышей с понтоном защищаются подачей:

- пены средней кратности;
- низкократной пены одновременно сверху и в слой нефтепродукта (рис. 2 и 3).

Резервуары с плавающей крышей защищаются:

- подачей пены средней кратности в кольцевой зазор между стенкой резервуара и краем плавающей крыши;
- подачей низкократной пены одновременно сверху в кольцевой зазор между стенкой резервуара и краем плавающей крыши и в слой нефтепродукта (рис. 4);
- автоматической автономной хладоновой (газовой) системой, расположенной на плавающей крыше, и подслонной системой пожаротушения низкократной пленкообразующей пеной.

В Руководстве по тушению нефти и нефтепродуктов в резервуарах и резервуарных парках [5] уже использован комплексный подход к определению интенсивности подачи раствора пенообразователя. Выбор интенсивности согласно Руководству [5] производят в зависимости от типа пенообразователя в соответствии с классификацией пенообразователей, близкой к европейским стандартам. В требованиях указывается на необходимость повышения интенсивности подачи огнетушащих веществ в зависимости от продолжительности свободного развития пожара. Однако Руководство [5] не носит статус нормативного документа, а является документом рекомендательного характера.

В связи с новым подходом к обеспечению экологической безопасности при изготовлении и обороте

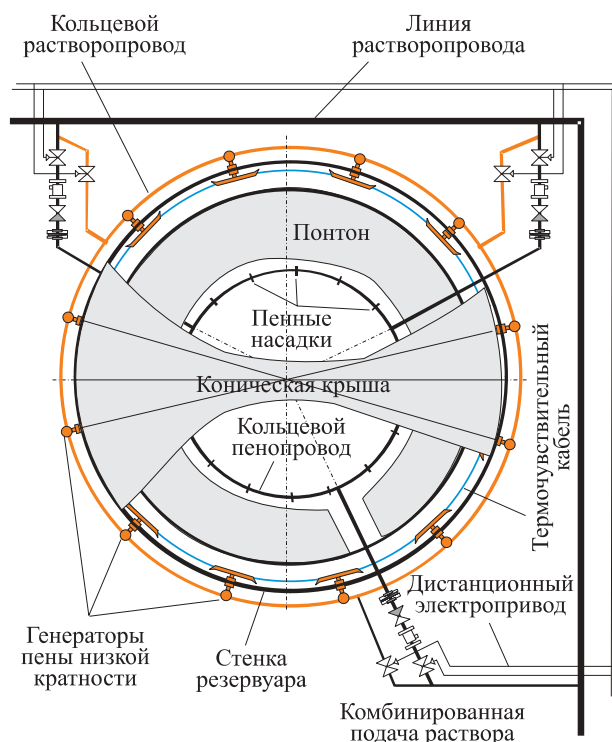


Рис. 2. Вариант разводки растворо- и пенопроводов системы комбинированного тушения пожара в резервуаре со стационарной крышей с металлическим понтоном РВСП-30000

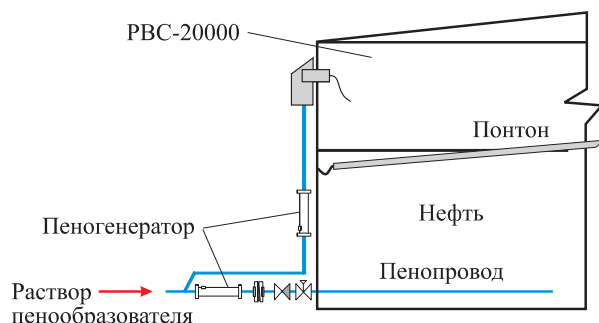


Рис. 3. Вариант размещения элемента системы противопожарной защиты — пенной камеры для подачи низкократной пены в верхний пояс резервуара с понтоном

моторных топлив полностью изменена технология их изготовления, а также их состав. В связи с этим специалисты должны понимать, что раз меняется состав топлива, значит, должна полностью измениться и противопожарная защита резервуаров и объектов резервуарных парков, а также технология их пожаротушения.

Эксперты и специалисты пожарной безопасности понимают, что потушить бензин и, например, изобутиловый спирт, используя одинаковые технологии и средства тушения, невозможно. Для этого надо изменить саму систему противопожарной защиты и применить иную технологию подачи огнетушащих веществ. Интенсивность подачи огнетушащих веществ должна определяться в зависимо-

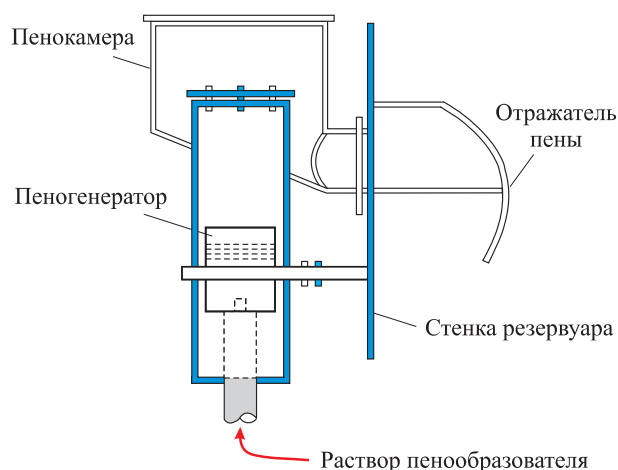


Рис. 4. Вариант размещения элемента системы пожаротушения — пенной камеры при подаче пены в верхний пояс резервуара от пеногенератора, расположенного у основания в обваловании

сти от многих критериев, влияющих на подходы к тушению пожара. Такими критериями являются:

- вместимость резервуара;
- время свободного горения от начала возникновения пожара до подачи огнетушащих средств;
- концентрация агрессивных растворителей (спиртов, стабилизирующих добавок и т. п.);
- тип используемого пенообразователя;
- способ подачи огнетушащего вещества на тушение пожара (под слой горючего, сверху на слой горючего или комбинированным способом).

Такие комплексные подходы используются при разработке в настоящее время проекта свода правил «Пенообразователи и смачиватели. Требования к их применению». Кроме того, такие подходы используют многие зарубежные топливные державы. Частично такой подход был применен в руководстве по тушению нефти и нефтепродуктов [5].

Введение в действие такого свода правил на территории РФ должно повлечь за собой более продолжительную работу по нормированию требований к проектированию систем противопожарной защиты резервуаров и объектов резервуарных парков. В связи с этим необходимо пересмотреть многие ведомственные нормативные документы, корпоративные стандарты и нормы проектирования систем противопожарной защиты.

С использованием современных подходов к выбору огнетушащих веществ новые технологии проектирования и модернизации существующих систем пожаротушения позволят обеспечить надежную противопожарную защиту резервуаров и объектов резервуарных парков. Современная противопожарная защита даст возможность избежать колоссальных материальных потерь от пожаров, а самое главное — гибели и травмирования людей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шароварников А. Ф. Противопожарные пены. Состав, свойства, применение. — М. : Знак, 2000.
2. Шароварников А. Ф., Молчанов В. П., Воевода С. С., Шароварников С. А. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов. — 2-е изд. — М. : Пожнаука, 2007.
3. Об утверждении технического регламента “О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и топочному мазуту”: постановление Правительства РФ от 27.02.2008 г. № 118 (в ред. постановлений Правительства РФ от 30.12.2008 г. № 1076, от 21.04.2010 г. № 268, от 07.09.2011 г. № 748, от 11.10.2012 г. № 1038). URL: http://www.nge.ru/g_regl.htm (дата обращения: 03.05.2013 г.).
4. СНиП 2.11.03–93*. Склады нефти и нефтепродуктов. Противопожарные нормы : постановление Госстроя России от 26.04.93 г.; введ. 01.07.93 г. — М. : ГП ЦПП, 1993.
5. Руководство по тушению пожаров нефти и нефтепродуктов в резервуарах и резервуарных парках : утв. ГУГПС МВД России 12.12.99 г. — М. : ВНИИПО, 2000.

Материал поступил в редакцию 6 мая 2013 г.

English

PROBLEMS OF TANKS FIRE PROTECTION WITH NEW EUROPEAN FUEL

BITUEV B. G., Docent of Fire Tactics and Service Department,
State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4,
Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail address: bityev2012@mail.ru)

ABSTRACT

Issues raised by the authors are related to fire extinguishing fundamentals of the European standard fuels in tanks and tank farms. Relevance of the article is determined by the introduction of Technical regulations “On requirements for motor and aviation gasoline, diesel and marine fuel, jet fuel and heating oil”. Russian fuel market undergoes transition to the use of environmentally friendly motor fuels. Such transition should be fully realized by the end of 2014. European countries, such as Germany, have already been using refined fuel since 2009.

Current fire safety regulations in force in the territory of the Russian Federation lack requirements which determine flow rate intensity of fire extinguishers to put out fires. Presence of alcohols within clean fuels determines different approaches to fire extinguishing. Traditional approaches to extinguish fires of European fuels with medium-expansion foam, as shown by laboratory tests, are inefficient. To ensure reliable fire protection of European standard fuels storage it is necessary to apply low-expansion fire-extinguishing foam, derived from fluorine-containing, film forming foaming agents. Designing of such systems should be implemented using sound scientific methods.

Keyword: foam; motor fuels European standard.

REFERENCES

1. Sharovarnikov A. F. *Protivopozharnyye peny. Sostav, svoystva, primeneniye* [Firefighting foam. The composition, properties and application]. Moscow, Znak Publ., 2000.
2. Sharovarnikov A. F., Molchanov V. P., Voyevoda S. S., Sharovarnikov S. A. *Tusheniye pozharov nefi i nefteproduktov*. 2-e izd. [Extinguish fires of oil and oil products. 2nd Edition]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2007.
3. On requirements for automobile and aviation gasoline, diesel and marine fuel, jet fuel and heating oil: Resolution of the Government of the Russian Federation on 27 February 2008 No. 118 (as amended by Resolution of the Government of the Russian Federation on 30 Desember 2008 No. 1076, on 21 April 2010 No. 268, on 7 September 2011 No. 748, on 11 October 2012 No. 1038). Available at: http://www.nge.ru/g_regl.htm (Accessed 3 May 2013) (in Russian).
4. *Construction norms and regulations 2.11.03–93*. Oil and oil products storage. Fire protection requirements*. Moscow, GP TsPP Publ., 1993 (in Russian).
5. *Guidance for extinguishing oil and oil products fires and oil in tanks and tank farms*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2000 (in Russian).



Международный отраслевой форум-выставка **ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ XXI ВЕКА**

Москва, МВЦ «Крокус Экспо», II павильон, зал №10
24-27 сентября 2013 года

12-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА «ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ XXI ВЕКА»

- Пожарная безопасность отраслевых направлений экономики и жизнедеятельности
- Пожарная техника, оборудование, системы защиты и спасения
- Охранная и пожарная автоматика (комплексные системы безопасности)
- Услуги в области пожарной безопасности
- Противопожарная пропаганда

Конкурсы:

- «Лучшее техническое решение в области пожарной безопасности»
- «Лидер продаж продукции пожарно-технического назначения»
- «Лучшие материалы и наглядные пособия по противопожарной пропаганде и обучению мерам пожарной безопасности»

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ ДЕЛОВАЯ ПРОГРАММА В НАПРАВЛЕНИИ «ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В ОБЛАСТИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ. ВОПРОСЫ САМОРЕГУЛИРОВАНИЯ. ИНВЕСТИЦИИ»

РЕКЛАМА



Дирекция выставки: +7 (495) 727-25-98, fireexpo@crocus-off.ru, <http://www.fireexpo.ru>

Организатор:
Крокус Экспо
Международный выставочный центр

Генеральный
информационный партнёр:
**РИА
Индустрия
Безопасности**

Официальный информационный
партнёр:
**МЧС
АМЕРИКА**

Главный
Интернет-партнёр:
SEC.RU
сервисный центр
к интернет-магазину

Главный информационный
партнёр:
СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ
СБ

Официальный
партнёр:
ОБЖ

Региональный
медиа-партнёр:
**112 ЕДИНАЯ СЛУЖБА
СПАСЕНИЯ**

Информационный партнёр
МВЦ «Крокус Экспо»:
БВ

ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ ПЛАЧЕВНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ НЕЗАВИСИМОЙ ОЦЕНКИ ПОЖАРНОГО РИСКА

© **М. П. ДУБИНИН**, президент Ассоциации “Национальный союз организаций в области обеспечения пожарной безопасности”
(Россия, 115088, г. Москва, ул. Шарикоподшипниковская, 4; e-mail: nsopb@nsopb.ru)

© **В. В. ЖУКОВ**, начальник отдела Ассоциации “Национальный союз организаций в области обеспечения пожарной безопасности”
(Россия, 115088, г. Москва, ул. Шарикоподшипниковская, 4; e-mail: GVV@nsopb.ru)

Введенный Постановлением Правительства РФ от 07.04.2009 г. № 304 институт независимой оценки пожарного риска (НОР) и применение его в соответствии с приказом МЧС России от 28.06.2012 г. № 375 с целью освобождения предприятий и организаций от проверок органами ГПН на длительный срок — это:

- доверие со стороны государства частнику контролировать противопожарное состояние объектов экономики и социальной сферы;
- новый принцип обеспечения пожарной безопасности (ПБ) страны;
- уменьшение масштабов избыточного государственного регулирования.

В результате введения НОР:

- многие организации начали жизнь без государственных проверок;
- появились такие экспертные услуги, с выводами которых считается государство;
- органы ГПН учатся работать в рамках доверия к объектам экономики;
- появилась надежда на позитивные изменения.

Однако цифры таковы: появилось 566 аккредитованных экспертных организаций; 1505 экспертов за пять лет существования этого института выдали “на гора” 2326 оценок НОР. Скажем прямо, результат не ахти какой. Поэтому важно назвать основные причины медленного развития НОР. Пять лет существования института НОР показали следующее:

1. С одной стороны, существует много способов избежать проверок или “волокитить” их проведение. С другой стороны, инспектор всегда может найти повод и лазейки для проверки, потому что (как утверждают сами инспектора) основной критерий их работы — не перевод объектов в систему НОР, а штраф.

Получается, что если я могу избежать и “волокитить” проверки, то незачем тратить деньги на НОР. С другой стороны, зачем платить за НОР, если инспектор все равно придет. Иначе говоря, заложенная в основу проекта идея “покупки” НОР с целью избежать прихода инспектора не дала ожидаемого

эффекта. Поэтому она популярна у ограниченного числа организаций.

Отсюда наша задача заключается в следующем: модернизируя НОР, подготовить модель НОР-2 с иной идеологией — “пусть инспектор приходит”.

2. Независимая оценка пожарного риска — это доведение объекта защиты до идеального состояния за счет применения дорогостоящих мер. Однако большинство российских организаций не может себе позволить ни идеального состояния, ни дорогостоящих мер. Поэтому нам и нужна модель НОР-2, использующая технологии работы, основанные на предложении недорогих и эффективных мер. Техническое решение этой проблемы уже разработано.

3. Организации и предприятия нуждаются не только в доведении пожарной безопасности до высокого уровня, но и в сохранении его на длительный период. Существующая модель НОР не предусматривает таких механизмов, что снижает ее востребованность. Нам нужна модель постоянно действующей НОР.

Однако главная причина непопулярности независимой оценки пожарного риска заключается не в ее содержании, а в том, что НОР осуществляется в каждой организации органами Государственного пожарного надзора (ГПН). О чем идет речь? В соответствии с руководящими документами МЧС РФ инспектор при проверке организации должен выявить все имеющиеся нарушения требований ПБ. Так вот, выявление всех “нарушений” — это и есть экспертиза, это и есть аудит безопасности, это и есть НОР. При НОР и при проверке ГПН решается *одна и та же задача* — выявить все нарушения.

Один инспектор рассказывает: “...проверил больничный комплекс, готовлю акт из 400 пунктов...”. 400 пунктов — это одни и те же нарушения, но только в разных помещениях, разных зданиях. Инспектор показывает заместителю главврача по АХЧ: “Здесь проводка неисправна, и здесь проводка не в порядке, и в этом помещении”. Но это не надзор, а тыканье носом в то, что они и без

инспектора видят каждый день. Это не надзор, а экспертиза.

Вот так и получается: зачем “покупать” заключение НОР с перечнем нарушений требований ПБ, если инспектор бесплатно выдаст предписание с тем же перечнем. Вот почему мы говорим, что НОР уже осуществляется в каждой организации. Вот почему мы говорим: “Потребность есть, а спрос на НОР незначительный”.

Тогда как должно быть? Первое, что должен сделать инспектор, придя в организацию, спросить у руководителя: “Сколько вы (либо выделенное должностное лицо) выявили нарушений требований ПБ? Покажите план их устранения”. И только после этого пойти и посмотреть объект защиты, но не с целью выявления всех имеющихся нарушений, а с целью убедиться, выявлены ли они, устранены или нет. Инспектор должен разобраться, занимается ли руководитель пожарной безопасностью без напоминаний государства? Органы ГПН должны сказать бизнес-сообществу: “Сами, без нас, планируйте проверки противопожарного состояния, выявляйте допущенные нарушения. Вне зависимости от того, придем мы для контроля или нет. Это ваша обязанность, а не наша”.

Представленная нами позиция соответствует действующему законодательству и точному пониманию, что такое государственный пожарный надзор. Поднимите определение функции государственного пожарного надзора в Федеральном законе № 69, и вы увидите, что надзор осуществляется посредством проверок деятельности организаций. Другими словами, закон устанавливает, что предметом проверок является управленческо-распорядительная деятельность руководителей организации. Вы увидите, что закон не требует выявлять все имеющиеся нарушения, т. е. надзор — это контроль за планированием “недопущений” и контроль за устранением нарушений требований ПБ. А то, что мы видим сейчас, — это продолжение того, что было у нас в течение 85 лет.

Несколько слов о качестве работ по “выявлению всех имеющихся нарушений”. Общеизвестно, что инспектор выявляет до 20 % “видимых” нарушений требований ПБ капитального характера. Но есть еще режимные нарушения, для него “невидимые”, которые происходят на объекте, когда инспектора там нет. “Невидимые” они еще и потому, что скрываются организациями от посторонних глаз. Чтобы выявить “все нарушения”, инспектору надо находиться на объекте почти круглые сутки (но это уже будет экспертиза), а ему отводится очень мало времени — на надзор. Если учесть, что на предприятии одних только параметров ПБ 1200, а нарушений требований ПБ может быть тысячи и миллионы, и что из

этих 1200 параметров инспектор видит не более 200, то задача, которую себе поставили органы ГПН, — “выявление всех нарушений” — это бег в тупик. Поэтому предписание — это случайный набор нарушений: “что глаза увидели”, “что голова вспомнила”. В предписаниях пишут одно, а страна горит от другого. И получается, что экспертиза, осуществляемая органами ГПН, выявляющая все нарушения, — это не качественная экспертиза, а мнимая, суррогат.

Из материалов уголовного дела: “Инспекторам органов ГПН вменяется в вину ненадлежащее исполнение своих должностных обязанностей, в результате чего в “Хромой лошади” не были выявлены многочисленные нарушения требований пожарной безопасности. Инспектор не запросил и не изучил техническую документацию, не выяснил законность проведенной реконструкции, в том числе закладки оконных проемов”. И далее: “...по словам исполнительного директора клуба Светланы Ефремовой, проверка, которую проводил пожарный инспектор Росляков, длилась 15 минут, и замечания от него были незначительными”.

Так что же получается? Под маской, под обликом функции “государственный пожарный надзор” у нас фактически осуществляется мнимая экспертиза. И что же мы имеем в результате? То, что государственный пожарный надзор — это и не надзор, и не экспертиза. Органы ГПН, как “собака на сене”, не дают развиваться настоящей рыночной экспертизе, и НОР в том числе.

Силовое навязывание некачественной, на скорую руку проведенной экспертизы-суррогата — это нарушение прав организаций и предприятий, ведь бизнес в состоянии самостоятельно организовать для себя качественную экспертизу.

При этом нарушаются права тысяч экспертных организаций, которые не могут организовать экспертный бизнес. Нарушаются права десятков тысяч экспертов пожарной безопасности, которые не могут найти применение своим профессиональным знаниям. Наконец, нарушаются права инспекторов. Коль скоро инспектора заставляют быть экспертом, то и ответственность он несет как эксперт. Хотя служебных возможностей быть экспертом у него нет. Отсюда и обвинительные заключения в халатности, выносимые по фактам пожаров (как, например, в “Хромой лошади”). Вот так и получается, что без вины виноватые инспектора за пожары предстают перед судом.

Органы ГПН превратили себя в экспертное учреждение, при этом они “занимают место” частного экспертного бизнеса и не дают ему развиваться. Потому что когда руководители будут обязаны сами

выявлять нарушения требований ПБ, они будут обращаться в экспертные организации. Отказ органов ГПН выполнять экспертные работы является первым предложением по развитию рынка экспертных услуг.

Второе важное предложение по развитию рынка экспертных услуг заключается в следующем.

Нормативными актами установлено, что руководители организации обязаны соблюдать требования пожарной безопасности. Это означает, что руководитель должен создать условия, при которых и ответственные за ПБ должностные лица, и инженерно-технические работники, и производственный персонал выполняют установленные руководителем требования ПБ. Такие условия называются “системой управления”. Системно-управленческий подход используется всеми, везде и давно. Почему мы напоминаем общеизвестные вещи? Да потому, что ПБ на уровне организации никогда не осуществлялась и не осуществляется через систему.

Причина этого заключается в том, что состояние правового и технического регулирования управленческой деятельности по обеспечению ПБ в организации (т. е. установление функций для организаций и обязанностей для должностных лиц) находится на очень низком профессиональном уровне.

Вот примеры, за что, по мнению органов ГПН, руководитель несет ответственность:

- обеспечить наличие табличек с номером телефона;
- обеспечить наличие исправных электрических фонарей;
- обеспечить своевременную очистку от горючих отходов, мусора и тары;
- осуществить проверку и ремонт печей и котельных;
- обеспечить проведение очистки дымоходов и печей от сажи;
- обеспечить исправность клапанов мусоропроводов.

Проблема еще и в том, что вопросы правового и технического регулирования управленческой деятельности по обеспечению ПБ в организации не изучаются научными учреждениями МЧС, поэтому в этом ведомстве нет соответствующих специалистов.

Что мы предлагаем? Поскольку алгоритмы профилактической работы “разбросаны” в различных документах и не согласуются между собой, а предприятия и организации нуждаются в современном методологическом материале для стандартизации этих процессов у себя, то возникает задача: в одном документе собрать все, что находится в разных источниках, и изложить это современным управленческим языком.

Мы предлагаем установить в качестве обязательного требования ПБ типовой стандарт “Система управления пожарной безопасностью в организации”. Одним из главных в стандартизации является расшифровка обязанностей руководителя. И вот почему это важно.

Приведем последние слова в суде главного фигуранта дела “Хромая лошадь” Анатолия Зака: “...не знал о правилах пожарной безопасности, не знал о фейерверке. Если бы знал, никогда бы не допустил этого... Я... заставил бы пиротехника взять маленький автомобильный огнетушитель..., который мог бы спасти положение...”.

Первое оправдание: “не знал о правилах пожарной безопасности”. Отечественный 60-летний опыт объектовой пожарной профилактики говорит о том (и мы предлагаем это в стандарте), что либо руководитель сам обязан знать требования пожарной безопасности, либо он должен назначить (или арендовать) специалиста, знающего эти требования.

Второе оправдание: “не знал о фейерверке”. Отечественный 60-летний опыт объектовой пожарной профилактики говорит о том (и мы предлагаем это в стандарте), что либо руководитель сам обязан планировать и проверять состояние ПБ, либо он должен назначить (или арендовать) специалиста, который будет все планировать, проверять и готовить для руководителя проекты управленческих решений.

Какое отношение это имеет к развитию рынка экспертных услуг? Дело в том, что когда противопожарные обязанности руководителя будут выделены “отдельной строкой” как самостоятельный и обязательный вид управленческих работ, тогда у руководителя появится возможность свои обязанности передавать экспертным организациям, появится предмет, который можно передавать. А в настоящее время обязанность руководителя “соблюдать требования ПБ” передать невозможно.

Если перевести “обязанность соблюдать требования ПБ” с законодательного языка (обязан соблюдать) на управленческий (что надо конкретно делать) в форме функций: подготовка управленческих документов, проведение проверок противопожарного состояния, планирование работы по обеспечению ПБ и др., то руководитель сможет передавать эти функции подчиненным работникам или на аутсорсинг. Благодаря этому договоров на оказание соответствующих услуг будет заключаться гораздо больше, и рынок экспертных услуг будет развиваться.

Несколько слов о специалистах ПБ в организациях. Сегодня на объектах нашей страны работает большое количество штатных специалистов ПБ. Действующим законодательством их статус (их правовое положение) не установлен, что превращает пожар-

но-профилактические службы и соответствующих работников в “партизан”, не имеющих правового статуса. Мы не хотим сказать, что в тех организациях, в которых есть эти службы и специалисты, о них нет ни положений, ни обязанностей. Разумеется, они есть. Но в разных организациях все по-разному: разные полномочия, разные функции, разная ответственность, разные цели, разные критерии оценки. Поэтому мы и говорим об общероссийском стандарте, в котором эти вопросы должны быть отражены правильно, современно и единообразно. Никакой рынок экспертных услуг, в том числе рынок НОР, не будет развиваться успешно без такого стандарта.

Еще раз напомним. Для развития рынка экспертных услуг главное, чтобы органы ГПН отказались от экспертных работ по выявлению миллионов и миллиардов нарушений требований ПБ. Органы ГПН должны формировать в каждой организации такую систему, при которой их специалисты сами или с помощью экспертных организаций будут разрабатывать и осуществлять противопожарные мероприятия. И это для них будет даже лучше, поскольку государство это делает хотя и бесплатно, но некачественно. Такие мероприятия будут рациональными и приемлемыми по стоимости. Тогда около 3 млн. объектов надзора для органов ГПН превратятся в 3 млн. клиентов рынка экспертных услуг.



Издательство «ПОЖНАУКА»

ВНИМАНИЕ! Распространяется БЕСПЛАТНО!



А. Я. Корольченко, О. Н. Корольченко
СРЕДСТВА ОГНЕ- и БИОЗАЩИТЫ
 Изд. 3-е, перераб. и доп. — 2010. — 250 с.

В третье издание внесены существенные изменения: включена глава, посвященная механизму огнебиозащиты древесины, расширена глава по анализу требований, содержащихся в нормативных документах по средствам огнезащиты, и их применению в практике строительства. Приведена информация ведущих производителей средств, предлагаемых на отечественном рынке для огнезащиты: древесины (пропитки, лаки и краски), несущих металлических конструкций (средства для конструктивной огнезащиты, огнезащитные штукатурки, вспучивающиеся покрытия), воздуховодов, кабелей и кабельных проходок, ковровых покрытий и тканей. Представлены также биозащитные составы для древесины.

Информация о средствах огне- и биозащиты включает данные о рекомендуемых областях их применения, эффективности, технологии нанесения, организациях-производителях.

Издание предназначено для работников проектных организаций, специалистов в области огне- и биозащиты и пожарной безопасности.

121352, г. Москва, а/я 43; тел./факс: (495) 228-09-03;
 e-mail: mail@firepress.ru; www.firepress.ru

**ВОПРОС:**

Могут ли наложить штраф за нарушение пожарной безопасности на ответственного по пожарной безопасности, если в должностной инструкции данного сотрудника не указаны обязанности по обеспечению пожарной безопасности?

ОТВЕТ:

Подобные вопросы довольно часто задаются на специализированных интернет-сайтах, посвященных пожарной тематике. Да и вообще перед любым человеком, который “по традиции” был назначен ответственным за обеспечение пожарной безопасности, рано или поздно встает такой вопрос. Попробуем найти юридически обоснованный ответ на него, для чего зададимся другим вопросом: *правомерно ли вообще назначение работника организации ответственным за пожарную безопасность без внесения пункта о соответствующих обязанностях в должностную инструкцию?*

Назначение ответственным за пожарную безопасность осуществляется в соответствии с п. 4 Правил противопожарного режима в Российской Федерации [1]: *“Руководитель организации назначает лицо, ответственное за пожарную безопасность, которое обеспечивает соблюдение требований пожарной безопасности на объекте”*.

Остается только пожалеть, что разработчики данного требования пожарной безопасности не дали пользователям механизма его практической реализации. В большинстве случаев назначение ответственного за пожарную безопасность организуется просто посредством издания приказа по организации. Предположим, наш гипотетический руководитель организации, не особенно вникая в правовую сторону вопроса, именно так и назначил ответственным за пожарную безопасность какого-нибудь завхоза “Михал Иваныча” или офис-менеджера Юлю, поручив им эту самую безопасность “обеспечивать”. При этом он не озаботился внесением соответствующей обязанности ни в трудовой договор, ни в должностную инструкцию данных работников. Практика пожарного надзора показывает, что это не просто распространенная ситуация: подобное положение вещей имеет место в 99 % случаев.

При рассмотрении описанной ситуации для начала примем во внимание то, что процесс обеспечения пожарной безопасности в организации является еще и трудовым процессом, а отношения, возникающие в процессе обеспечения пожарной безопасности между юридическим лицом (работодателем) и физическим лицом (работником), являются трудовыми отношениями (согласно ст. 15 Трудового кодекса Российской Федерации [2]). Это

стало особенно очевидным с введением Правил противопожарного режима [1], в которых словосочетание “руководитель обеспечивает” или “руководитель организует” встречается 84 раза. Я очень сомневаюсь в том, что руководитель сам будет выполнять эту работу, а не поручит ее кому-либо из подчиненных. Повторюсь, **процесс обеспечения пожарной безопасности на объекте защиты становится трудовым процессом**, т. е. процессом взаимодействия между законным представителем юридического лица — руководителем организации (работодателем) и физическим лицом — работником, который будет выполнять ту или иную функцию по обеспечению пожарной безопасности, приобретая статус “должностного лица”.

Таким образом, когда работодатель поручает работнику выполнять функции, связанные с обеспечением пожарной безопасности (например, разработать план эвакуации при пожаре, организовать обучение мерам пожарной безопасности, определить категории зданий и помещений по взрывопожарной и пожарной опасности), он автоматически возводит вопросы пожарной безопасности в ранг вопросов, регулируемых трудовым законодательством. Поэтому назначение работника ответственным за пожарную безопасность является требованием выполнять работу по ее обеспечению.

В ст. 60 Трудового кодекса [2] прямо говорится о запрещении выполнения работы, не обусловленной трудовым договором:

“Запрещается требовать от работника выполнения работы, не обусловленной трудовым договором, за исключением случаев, предусмотренных настоящим Кодексом и иными федеральными законами”.

Таким образом, если работник будет назначен ответственным за пожарную безопасность и при этом обязанности по ее обеспечению на объекте защиты не будут отражены в его трудовом договоре или должностной инструкции, то от него будут требовать выполнения работы, не обусловленной трудовым договором. Это является нарушением ст. 60 Трудового кодекса [2] — документа, имеющего более высокий статус, чем Правила противопожарного режима [1], что, разумеется, недопустимо.

**ВОПРОС:**

Какую ответственность несет работник за нарушение требований пожарной безопасности?

ОТВЕТ:

Ответственность за нарушение требований пожарной безопасности определяется ст. 38 Федерального закона № 69-ФЗ “О пожарной безопас-

ности” [3], ст. 192 Трудового кодекса [2] (в части, касающейся дисциплинарной ответственности), Кодексом Российской Федерации об административных правонарушениях [4] (в части, касающейся административной ответственности: ст. 19.5 и 20.4), Уголовным кодексом Российской Федерации (в части, касающейся уголовной ответственности: ст. 219).

В ст. 192 Трудового кодекса [2] говорится о том, что за совершение дисциплинарного проступка, т. е. неисполнение или ненадлежащее исполнение работником **возложенных на него трудовых обязанностей**, работодатель имеет право применить следующие дисциплинарные взыскания: 1) замечание; 2) выговор; 3) увольнение на соответствующих основаниях.

Однако ст. 192 [2], по которой работника можно было бы привлечь к дисциплинарной ответственности за нарушение требований пожарной безопасности, не будет иметь силы, если обязанность по соблюдению требований пожарной безопасности или обязанность по выполнению какой-либо работы, направленной на обеспечение пожарной безопасности, не является трудовой обязанностью работника, т. е. не закреплена в трудовом договоре.

В ст. 2.4 Кодекса об административных правонарушениях [4] записано, что административной ответственности подлежит должностное лицо в случае совершения им административного правонарушения в связи с неисполнением либо ненадлежащим исполнением **своих служебных обязанностей**.

Как видим, данная статья тоже говорит об исполнении той или иной обязанности должностного лица, закрепление которой в трудовом договоре или должностной инструкции является основанием для привлечения данного лица к административной ответственности.

Ст. 219 Уголовного кодекса [5] говорит о том, что нарушение требований пожарной безопасности, совершенное лицом, **“на котором лежала обязанность по их соблюдению, наказывается...”**.

Очевидно, что и уголовная ответственность неприменима к работнику, в чьи должностные обязанности не входило обеспечение пожарной безопасности (за исключением тех случаев, когда этот работник, как гражданин Российской Федерации, не исполнил обязанность по соблюдению требований пожарной безопасности, возложенную на него ст. 34 [3]).

Таким образом, все виды ответственности: дисциплинарная, административная, уголовная (в части, касающейся пожарной безопасности) — привязаны к понятию “обязанность”. Поэтому в должностной инструкции работника или в трудовом договоре необходимо прописывать все, что связано с пожарной безопасностью, очень детально. Напри-

мер, для главного энергетика его “пожарные” обязанности могут быть сформулированы следующим образом:

“Принимает участие в разработке (переработке) локальных нормативных актов предприятия в части, касающейся пожарной безопасности электроустановок.

Принимает участие в оценке соответствия требованиям нормативных правовых актов и иных документов проектной документации на здания, сооружения и помещения, находящиеся в управлении предприятия и подлежащие капитальному ремонту, в части, касающейся соблюдения требований пожарной безопасности электроустановок зданий”.

Для инженера по водоснабжению логично было бы прописать следующие должностные обязанности по обеспечению пожарной безопасности:

“Организует своевременную разработку (переработку) проектной и технической документации (чертежей, спецификаций, технических условий, технологических карт, инструкций для персонала) в части, касающейся внутреннего противопожарного водопровода, автоматического водяного пожаротушения зданий.

Принимает участие в оценке соответствия требованиям нормативных правовых актов и нормативных документов проектной документации на здания, сооружения и помещения, подлежащие капитальному ремонту, в части, касающейся соблюдения требований пожарной безопасности к системам внутреннего противопожарного водопровода, автоматического водяного пожаротушения зданий”.

При отсутствии или в должностной инструкции, или в трудовом договоре работника обязанностей, аналогичных приведенным выше, ни о какой-либо ответственности, ни о самом назначении работника ответственным за обеспечение пожарной безопасности не может быть и речи.

Для работодателей в этом случае рекомендация может быть только одна: прописать в должностной инструкции конкретные обязанности, связанные с обеспечением пожарной безопасности. В противном случае все приказы о назначении завхоза “Михал Ивановича” или офис-менеджера Юли ответственными за пожарную безопасность будут являться филькиной грамотой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила противопожарного режима в Российской Федерации : постановление Правительства РФ от 25.04.2012 г. № 390 // Российская газета. — 2012. — № 93.

2. Трудовой кодекс Российской Федерации : Федер. закон № 197-ФЗ; утв. 30.12.2001 г. Президентом РФ; введ. 01.02.2002 г. // Российская газета. — 2001. — № 256.
3. О пожарной безопасности (с изм. и доп.) : Федер. закон от 21.12.94 г. № 69-ФЗ; принят Гос. Думой 18.11.94 г.; введ. 26.12.94 г. // Собр. законодательства РФ. — 1994. — № 35, ст. 3649.
4. Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях : Федер. закон от 30.12.2001 г. № 195-ФЗ; принят Гос. Думой 20.12.2001 г.; одобр. Сов. Федерации 26.12.2001 г. // Российская газета. — 2001.

— № 256; Собр. законодательства РФ. — 2002. — № 1 (ч. I), ст. 1.

5. Уголовный кодекс Российской Федерации : Федер. закон РФ от 13.06.96 г. № 63-ФЗ; принят Гос. Думой 24.05.96 г.; одобр. Сов. Федерации 05.06.96 г.; введ. 01.01.97 г. // Собр. законодательства РФ. — 1996. — № 25, ст. 2954.

Ответ подготовил советник директора Государственного унитарного предприятия города Москвы "ЖИЛИЩНИК-1" П. Ю. КНЯЗЕВ

ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПОЖНАУКА» ПРЕДЛАГАЕТ ВАШЕМУ ВНИМАНИЮ

Учебное пособие

В. Н. Черкасов, В. И. Зыков

Обеспечение пожарной безопасности электроустановок



Рецензенты: Федеральное государственное учреждение Всероссийский ордена «Знак почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России, кафедры физики и пожарной безопасности технологических процессов Академии ГПС МЧС России.

В учебном пособии рассмотрены общая схема электроснабжения потребителей, классификация электроустановок и причины пожаров от них, а также вероятностная оценка пожароопасных отказов в электротехнических изделиях и пожарная безопасность комплектующих элементов. Приведены нормативные обоснования и инженерные решения по обеспечению пожарной безопасности электроустановок и защите зданий и сооружений от молний и статического электричества. Учебное пособие предназначено для практических работников в области систем безопасности и может быть использовано для подготовки и повышения квалификации специалистов соответствующего профиля.



Web-сайт: firepress.ru

Эл. почта: mail@firepress.ru, izdat_pozhnauka@mail.ru

Тел.: (495) 228-09-03, тел./факс: (495) 445-42-34

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ!

Направляемые в журнал “ПОЖАРОВЗРЫВБЕЗОПАСНОСТЬ” статьи должны представлять собой результаты научных исследований и испытаний, описания новых технических устройств и программно-информационных продуктов; проблемные обзоры и краткие сообщения; комментарии к нормативно-техническим документам; справочные материалы и т. п. Методы расчета и экспериментальные данные, полученные автором, должны быть оформлены в соответствии с рекомендациями КОДАТА. Остальные численные данные, за исключением общеизвестных величин, следует снабжать ссылками на первоисточник. Научные статьи должны иметь практическую направленность. В начале работы (например, во введении) целесообразно кратко изложить состояние проблемы и место в ней данной задачи. В конце публикации должны быть сделаны краткие выводы с указанием научной новизны и практической полезности материала.

Редакция просит авторов при подготовке рукописи руководствоваться изложенными ниже правилами.

1. Статья и сопутствующие ей материалы должны быть направлены в редакцию в электронном виде по электронному адресу (info@fire-smi.ru), а также в бумажном виде по почте (121352, Российская Федерация, г. Москва, а/я 43). Статья должна быть ясно изложена, тщательно отредактирована и подписана авторами.

2. Материал статьи должен излагаться в следующем порядке.

2.1. Номер УДК (универсальная десятичная классификация).

2.2. Заглавие статьи (на русском и английском языках). Заглавия научных статей должны быть информативными, в них можно использовать только общепринятые сокращения. В переводе заглавий статей на английский язык не должно быть никаких транслитераций с русского языка, кроме непереводаемых названий собственных имен, приборов и других объектов, имеющих собственные названия; не должен также использоваться непереводаемый сленг, известный только русскоговорящим специалистам. Это также касается аннотаций, авторских резюме и ключевых слов.

2.3. Информация об авторах.

2.3.1. Имена, отчества и фамилии всех авторов (полностью, на русском языке и транслитерация). Авторами являются лица, принимавшие участие во всей работе или ее главных разделах. Лица, участвовавшие в работе частично, указываются в сносках.

2.3.2. Степени, звания, должность, адресные сведения о месте работы всех авторов (на русском и английском языках). Здесь необходимо указать: официальное полное название организации вместе с ведомством, к которому оно принадлежит (при переводе — желательно его официально принятый английский вариант), индекс, страну, город, название улицы, номер дома, а также контактные телефоны и электронный адрес хотя бы одного из авторов. Все почтовые сведения на иностранном языке (кроме наименования улицы, которое должно быть в транслитерированном виде) должны быть представлены на английском языке, в том числе название города и страны.

Пример: Institute for Problem in Mechanics, Russian Academy of Sciences, Prospekt Vernadskogo, 101, 119526 Moscow, Russian Federation.

2.4. Аннотация на русском языке (не менее 4–5 предложений).

2.5. Расширенное резюме на русском и английском языках. Необходимо иметь в виду, что авторские резюме на английском языке в русскоязычном издании являются для иностранных ученых и специалистов основным и, как правило, единственным источником информации о содержании статьи и об изложенных в ней результатах исследований. Поэтому авторское резюме должно быть:

- информативным (не содержать общих слов);
- оригинальным (не быть калькой с русскоязычной аннотации с дословным переводом);

■ содержательным (должно излагать существенные факты и результаты работы и не должно преувеличивать или включать материал, который отсутствует в основной части публикации);

■ структурированным (следовать логике описания результатов в публикации);

■ “англоязычным” (написано качественным английским языком; необходимо использовать активный, а не пассивный залог, т. е. “The study tested”, но не “It was tested in this study”);

■ объем текста авторского резюме должен быть не менее 100–250 слов.

Приветствуется структура резюме, повторяющая структуру статьи и включающая введение, цели и задачи, методы, результаты, заключение (выводы). Однако предмет, тема, цель работы указываются в том случае, если они неясны из заглавия статьи; метод или методологию проведения работы целесообразно описывать в том случае, если они отличаются новизной или представляют интерес с точки зрения данной работы.

Результаты работы описывают предельно точно и информативно. Приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, установленные взаимосвязи и закономерности.

Выводы могут сопровождаться рекомендациями, оценками, предложениями, гипотезами, описанными в работе.

Сведения, содержащиеся в заглавии статьи, не должны повторяться в тексте авторского резюме.

Текст должен быть связным, излагаемые положения должны логично вытекать один из другого.

Сокращения и условные обозначения, кроме общеупотребительных, применяют в исключительных случаях или дают их расшифровку и определение при первом употреблении в авторском резюме.

В авторском резюме не даются ссылки на публикации, приведенные в списке литературы к статье.

2.6. Ключевые слова (на русском и английском языках).

2.7. Текст статьи (в формате Word через 1,5 инт.; формулы должны быть набраны в Equation 3.0 или MathType).

2.8. Пристатейные списки литературы на русском языке и языке оригинала (если книга переводная).

Цитируемая литература должна быть оформлена в виде общего списка в порядке цитирования. В тексте ссылка на литературу отмечается порядковой цифрой в квадратных скобках, например [1]. При этом цитируемый один в один текст из других публикаций следует брать в кавычки. Библиографические данные приводятся по титульному листу издания. Порядок изложения элементов библиографического описания определяется требованиями ГОСТ 7.1–2003 и ГОСТ Р 7.0.5–2008.

2.9. Пристайные списки литературы в романском алфавите (латинице) — References.

Для References можно предложить следующий формат:

Author A. A., Author B. B., Author C. C. Title of article. *Title of Journal*, 2005, vol. 10, no. 2, pp. 49–53.

Примеры описаний в References

Статьи из журнала:

Zagurenko A. G., Korotovskikh V. A., Kolesnikov A. A., Timonov A. V., Kardymon D. V. Tekhniko-ekonomicheskaya optimizatsiya dizaina gidrorazryva plasta [Techno-economic optimization of the design of hydraulic fracturing]. *Neftyanoe khozyaistvo — Oil Industry*, 2008, no. 11, pp. 54–57.

(Авторы (транслитерация), название статьи в транслитерированном варианте [перевод названия статьи на английский язык в квадратных скобках] (представление в References только транслитерированного (без перевода) описания недопустимо), курсивом название журнала (транслитерация — перевод), год выхода издания, номер журнала, интервал страниц. Нежелательно в ссылках делать произвольные сокращения названий источников).

Статьи из электронного журнала:

Swaminathan V., Lepkoswka-White E., Rao B. P. Browsers or buyers in cyberspace? An investigation of electronic factors influencing electronic exchange. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 1999, vol. 5, no. 2. Available at: <http://www.ascusc.org/jcmc/vol5/issue2/> (Accessed 28 April 2011).

Статьи с DOI:

Zhang Z., Zhu D. Experimental research on the localized electrochemical micro-machining. *Russian Journal of Electrochemistry*, 2008, vol. 44, no. 8, pp. 926–930. doi: 10.1134/S1023193508080077.

(Если описываемая публикация имеет doi, его указание обязательно в References).

Статьи из продолжающегося издания (сборника трудов):

Astakhov M. V., Tagantsev T. V. Eksperimental'noe issledovanie prochnosti soedinenii "stal"—kompozit [Experimental study of the strength of joints "steel-composite"]. *Trudy MG TU "Matematicheskoe modelirovanie slozhnykh tekhnicheskikh sistem"* [Proc. of the Bauman MSTU "Mathematical Modeling of Complex Technical Systems"], 2006, no. 593, pp. 125–130.

Материалы конференций:

Usmanov T. S., Gusmanov A. A., Mullagalin I. Z., Muhametshina R. Ju., Chervyakova A. N., Sveshnikov A. V. Osobennosti proektirovaniya razrabotki mestorozhdeniy s primeneniem gidrorazryva plasta [Features of the design of field development with the use of hydraulic fracturing]. *Trudy 6 Mezhdunarodnogo Simpoziuma "Novye resursoberegayushchie tekhnologii nedropol'zovaniya i povysheniya neftegazootdachi"* [Proc. 6th Int. Symp. "New Energy Saving Subsoil Technologies and the Increasing of the Oil and Gas Impact"]. Moscow, 2007, pp. 267–272.

Книги (монографии, сборники):

Nenashev M. F. *Poslednee pravitel'stvo SSSR* [Last government of the USSR]. Moscow, Krom Publ., 1993. 221 p.

Переводные книги:

Timoshenko S. P., Young D. H., Weaver W. *Vibration problems in engineering*. 4th ed. New York, Wiley, 1974. 521 p. (Russ. ed.: Timoshenko S. P., Iang D. Kh., Uiver U. *Kolebaniya v inzhenernom dele*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985. 472 p.).

Интернет-ресурс:

Pravila Tsitirovaniya Istochnikov [Rules for the Citing of Sources] Available at: <http://www.scribd.com/doc/1034528/> (Accessed 7 February 2011).

Диссертации или авторефераты диссертаций:

Semenov V. I. *Matematicheskoe modelirovanie plazmy v sisteme kompaktnyi tor*. Diss. dokt. fiz.-mat. nauk [Mathematical modeling of the plasma in the compact torus. Dr. phys. and math. sci. diss.]. Moscow, 2003. 272 p.

ГОСТы:

GOST 8.586.5–2005. *Metodika vypolneniia izmerenii. Izmerenie raskhoda i kolichstva zhidkostei i gazov s pomoshch'iu standartnykh suzhaiushchikh ustroistv* [State Standard 8.586.5–2005. Method of measurement. Measurement of flow rate and volume of liquids and gases by means of orifice devices]. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 10 p.

или

State Standard 8.586.5–2005. Method of measurement. Measurement of flow rate and volume of liquids and gases by means of orifice devices. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 10 p. (In Russian).

Описание патента:

Palkin M. V., e. a. *Sposob orientirovaniia po krenu letatel'nogo apparata s opticheskoi golovkoi samonavedeniia* [The way to orient on the roll of aircraft with optical homing head]. Patent RF, no. 2280590, 2006.

На сайте издательства Emerald даны достаточно подробные рекомендации по составлению пристайных списков литературы по стандарту Harvard (Harvard Reference System) практически для всех видов публикаций <http://www.emeraldinsight.com/authors/guides/write/harvard.htm?part=2>, а также программные средства для их формирования.

3. Сокращения и условные обозначения физических величин в тексте статьи должны соответствовать действующим международным стандартам. Формулы и буквенные обозначения должны быть четкими и ясными. Все буквенные обозначения, входящие в формулы, должны быть расшифрованы с указанием единиц измерения. Размерность всех характеристик должна соответствовать системе СИ.

4. Иллюстрации в электронной версии прилагаются отдельно. Фотографии должны быть сделаны с хорошего негатива контрастной печатью (файлы растровых изображений представляются с разрешением не менее 300 dpi, черно-белая штриховая графика — 600 dpi). Файлы векторной графики следует предоставлять в формате той программы, в которой они созданы, либо создать PDF-файл из этой программы. Все иллюстрации должны иметь сквозную нумерацию. Чертежи в качестве иллюстраций не приемлемы.

5. Таблицы должны быть составлены лаконично и содержать только необходимые сведения; однотипные таблицы следует строить одинаково. Цифровые данные необходимо округлять в соответствии с точностью эксперимента. Сведения в таблицах и на рисунках не должны повторяться.

6. К статьям, авторами которых являются соискатели ученых степеней, следует прилагать рецензию, которая должна быть подписана рецензентом из сторонней организации (с указанием его Ф. И. О., ученого звания, ученой степени, должности, места работы), заверена отделом кадров (ученым секретарем) и печатью.

7. Непринятые к публикации статьи автору не возвращаются. Просьба редакции о переработке материала не означает, что он принят к печати.

8. Плата с аспирантов за публикацию работ не взимается.

Приглашаем Вас к сотрудничеству на страницах нашего журнала.

**8-10
ОКТАБРЯ**

г.Уфа, Республика Башкортостан

**IV Межрегиональный
ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ФОРУМ**



XVIII СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

УРАЛЭКОЛОГИЯ.

ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ 2013

Организаторы:

- **Правительство Республики Башкортостан**
- **Министерство природопользования и экологии Республики Башкортостан**
- **Коммерческий инновационный центр «Лигас»**

При поддержке:

- **Министерства промышленности и инновационной политики Республики Башкортостан**
- **Торгово-промышленной палаты Российской Федерации**
- **Торгово-промышленной палаты Республики Башкортостан**

ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР
ЛИГАС LIGAS

тел.: (347)253-72-23, 253-79-57

e-mail: ligas@ufanet.ru

www.ligas-ufa.ru

- 1 **Свод правил. Системы противопожарной защиты** (электронная версия). — 2011. Цена — 500 руб.
- 2 **Федеральный закон “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности”**. — 2010. — 150 с. Цена — 220 руб.
- 3 АНТОНЕНКО А. А., БУЦЫНСКАЯ Т. А., ЧЛЕНОВ А. Н. **Основы эксплуатации систем комплексного обеспечения объектов**: учебно-справочное пособие. — 2010. — 220 с. — ISBN 978-5-91444-017-3. Цена — 380 руб.
- 4 АСЕЕВА Р. М., СЕРКОВ Б. Б., СИВЕНКОВ А. Б. **Горение древесины и ее пожароопасные свойства**: монография. — 2011. — 262 с. — ISBN 978-5-9229-0045-4. Цена — 350 руб.
- 5 БРУШЛИНСКИЙ Н. Н., КОРОЛЬЧЕНКО А. Я. **Моделирование пожаров и взрывов**. — 2000. — 492 с. Цена — 540 руб.
- 6 ГОРБАНЬ Ю. И. **Пожарные роботы и ствольная техника в пожарной автоматике и пожарной охране**. — 2013. — 352 с.: ил. — ISBN 978-591444-023-8. Цена — 450 руб.
- 7 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я. **Процессы горения и взрыва**: учебник. — 2007. — 266 с.: ил. — ISBN 978-5-91444-001-2. Цена — 450 руб.
- 8 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., ЗАГОРСКИЙ Д. О. **Категорирование помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности**. — 2010. — 118 с. — ISBN 978-5-91444-015-9. Цена — 250 руб.
- 9 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., КОРОЛЬЧЕНКО Д. А. **Основы пожарной безопасности предприятия. Полный курс пожарно-технического минимума**: учебное пособие. — 2011. — 320 с. — ISBN 978-591444-021-X. Цена — 350 руб.
- 10 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., КОРОЛЬЧЕНКО Д. А. **Основы пожарной безопасности предприятия. Полный курс пожарно-технического минимума**: учебное пособие [Электронная версия]. — 2011. Цена — 300 руб.
- 11 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., КОРОЛЬЧЕНКО О. Н. **Средства огнезащиты**. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — 2009. — 560 с.: ил. — ISBN 978-5-91444-010-4. Цена — 540 руб.
- 12 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., КОРОЛЬЧЕНКО О. Н. **Средства огне- и биозащиты**. — Изд. 3-е, перераб. и доп. — 2010. — 250 с. БЕСПЛАТНО.
- 13 КОРОЛЬЧЕНКО Д. А., ГРОМОВОЙ В. Ю. **Огнетушители. Устройство. Выбор. Применение**. — 2010. — 94 с. — ISBN 978-5-91444-014-02. Цена — 140 руб.
- 14 ПИЛЮГИН Л. П. **Обеспечение взрывоустойчивости зданий с помощью предохранительных конструкций**. — 2000. — 224 с.: ил. — ISBN 5-901283-03-1. Цена — 240 руб.
- 15 ПИЛЮГИН Л. П. **Прогнозирование последствий внутренних аварийных взрывов**. — 2010. — 380 с. — ISBN 978-5-91444-016-6. Цена — 450 руб.
- 16 СМЕЛКОВ Г. И., ЧЕРКАСОВ В. Н., ВЕРЕВКИН В. Н., ПЕХОТИКОВ В. А., РЯБИКОВ А. И. **Электроустановки во взрывопожароопасных зонах**: справочное пособие. — 2012. — 222 с. — ISBN 978-5-91444-022-X. Цена — 300 руб.
- 17 ЧЕРКАСОВ В. Н., ЗЫКОВ В. И. **Обеспечение пожарной безопасности электроустановок**: учебное пособие. — 2010. — 406 с. — ISBN 978-5-91444-020-3. Цена — 470 руб.

СУПЕРСКИДКИ

- 1 СОБУРЬ С. В. **Заполнение проемов в противопожарных преградах**: пособие. — Изд. 2-е, с изм. и доп. — 2006. — 168 с. — ISBN 5-98629-005-4. Цена — 90 руб.
- 2 СОБУРЬ С. В. **Пожарная безопасность сельскохозяйственных предприятий**: справочник. — 2005. — 88 с. — ISBN 5-98629-004-6. Цена — 36 руб.
- 3 ТЕРЕБНЕВ В. В., АРТЕМЬЕВ Н. С., ГРАЧЕВ В. А. **Транспорт: наземный, морской, речной, воздушный, метро**: учебное пособие. — 2007. — 383 с. — ISBN 5-903049-09-5. Цена — 220 руб.
- 4 ТЕРЕБНЕВ В. В., АРТЕМЬЕВ Н. С., ПОДГРУШНЫЙ А. В. **Леса, торфяники, лесосклады**. — 2007. — 358 с. — ISBN 5-903049-12-5. Цена — 220 руб.
- 5 ТЕРЕБНЕВ В. В., АРТЕМЬЕВ Н. С., ПОДГРУШНЫЙ А. В. **Объекты добычи, переработки и хранения горючих жидкостей и газов**: учебное пособие. — 2007. — 325 с. — ISBN 5-903049-11-7. Цена — 220 руб.

■ Адрес: 121352, г. Москва, а/я 43. Заказ книг: тел.: (495) 228-09-03, 8-909-940-01-85; e-mail: info@fire-smi.ru, mail@firepress.ru; www.fire-smi.ru, www.firepress.ru.

- В бланке заказа на приобретение книг просьба указать:
- 1) название организации полностью;
 - 2) реквизиты (ИНН/КПП обязательно);
 - 3) наименование и количество заказываемой литературы;
 - 4) почтовый адрес, тел./факс, e-mail, контактное лицо;
 - 5) способ доставки: самовывоз или почтовая.

■ **ВНИМАНИЕ!!!** Цены указаны без стоимости доставки, которая составляет 25 % стоимости заказа.

■ **Постоянным покупателям предоставляются скидки!**

Издательство “Пожнаука” предлагает Вам оформить подписку на журнал “Пожаровзрывобезопасность” на 2-е полугодие 2013 г.

**Подписка на полугодие включает в себя
шесть номеров журнала “Пожаровзрывобезопасность”.
Стоимость полугодовой подписки составляет 4950 руб. (НДС — 0 %).**



**ПЕРСОНАЛЬНАЯ ПОДПИСКА
на журнал**

**ПОЖАРОВЗРЫВО-
БЕЗОПАСНОСТЬ**



ISSN 0869-7493

КУПОН '2013

Издание	Цена подписки, руб.	Количество экземпляров	Стоимость подписки, руб.
Журнал “Пожаровзрывобезопасность” (2-е полугодие 2013 г.)	4950		

- ☐ Укажите в таблице количество экземпляров, которое Вам необходимо.
В связи с введением обязательного составления счетов-фактур при совершении операций по реализации просим прислать также карточку Вашей организации. Эти сведения необходимы для подготовки и высылки Вам счета-фактуры.
- ☐ Заполненный купон и копию платежного поручения вышлите по e-mail: info@fire-smi.ru, mail@firepress.ru в отдел распространения.
- ☐ Оплату за подписку Вы можете произвести по следующим реквизитам:
ООО “Издательство “ПОЖНАУКА”
Почтовый адрес: 121352, г. Москва, а/я 43
ИНН / КПП 7731652572 / 773101001
Р/с 40702810930130056301 в ОАО “Промсвязьбанк” г. Москва
К/с 30101810400000000555
БИК 044525555
Главный редактор — *Корольченко Александр Яковлевич*

***По вопросам подписки просьба обращаться по телефонам
(495) 228-09-03, 8-909-940-01-85***

ПОДПИСКА ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ:

через ООО “Издательство “Пожнаука”;
через агентство “РОСПЕЧАТЬ”, индекс 83340;
через агентство “АПР”, индекс 83647
(в любом почтовом отделении в каталоге
“Газеты и журналы”);

через подписные агентства:
ООО “Интер-Почта 2003”, ООО “ИНТЕР-ПОЧТА-РЕГИОН”,
ООО “Урал-Пресс XXI”, ООО “Информнаука”,
ЗАО “МК-ПЕРИОДИКА”



БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ
ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ КОНКУРС «ЭТАЛОН БЕЗОПАСНОСТИ»
ТЕХНОЛОГИИ БЕЗОПАСНОСТИ В РОЗНИЧНОЙ ТОРГОВЛЕ
БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ
ДЕНЬ МОНТАЖНИКА И ПРОЕКТИРОВЩИКА
БЕЗОПАСНОСТЬ БОЛЬШОГО ГОРОДА
ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ КРУПНЫХ ОБЪЕКТОВ
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ. НЕВСКИЙ ДИАЛОГ

Здесь определяется вектор безопасности

**12-15
НОЯБРЯ
2013**

Место проведения:
Санкт-Петербург, Ленэкспо



Sfitex

St. Petersburg International Security & Fire Exhibition

IS.CS

4-я СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА
ИНФОРМАЦИЯ, ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ ЗАЩИТЫ



ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ
АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА
СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

ОХРАНА И БЕЗОПАСНОСТЬ
22-й МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ

Получите электронный
билет на сайте:

www.sfitex.ru

Организатор:



primexpo



+7 (812) 380 6009/00, SECURITY@PRIMEXPO.RU

Генеральный
интернет партнер:



консультант
в области

Медиа-партнер:



Информационная
поддержка:

